

Día Mundial del agua
Sesión celebrada en la Real Academia de Farmacia
el día 22 de marzo de 1999

**El Agua como vehículo de infección y de
infestación**

MANUEL DOMÍNGUEZ CARMONA

Académico de Número

MANUEL DOMÍNGUEZ DE LA CALLE

Licenciado en Farmacia. Especializado en Informática Médica

El hombre utiliza el agua para cubrir muchas de sus necesidades personales y colectivas, devolviendo el sobrante al ciclo natural del agua pero ahora contaminada por tóxicos y por los microorganismos que se han multiplicado en el intestino humano.

Hipócrates (460 o 454 a 354 a.J.) destacó en su obra "Aires, Aguas y Lugares" la importancia del agua y recomendaba hervirla para evitar enfermedades lo cual indica que conocía el papel del agua en la transmisión de enfermedades. Herodoto escribió que los médicos de las escuelas egipcias aconsejaban hervir el agua para evitar las enfermedades intestinales. En el siglo XVIII Read achacó al agua de un pozo una epidemia de disentería acaecida en Metz y en 1814 Kruikshanks observó la aparición de un brote grave de cólera en un regimiento de infantería que bebía agua de unos aljibes, mientras que un batallón situado en una cota superior que bebía agua de pozo no presentó ningún caso. En

1823, el francés Dupré, sugirió que algunas epidemias de tifoidea podrían proceder del agua. John, en Londres, y casi simultáneamente William Budd, en Bristol, pensaron lo mismo. En la famosa epidemia de cólera de Londres de 1854-55 el Inspector de Sanidad John Snow estudió epidemiológicamente la distribución espacial de los casos, cuyos resultados publicó en la famosa monografía "The mode of communication of cholera". Este trabajo permitió reconocer por primera vez que el cólera estaba asociado con el consumo del agua. Al estudiar las defunciones encontró esta distribución según el distrito:

| Fuente de aprovisionamiento de agua | Número de defunciones por 10.000 viviendas |
|-------------------------------------|--|
| Southward y Vauxhall | 71 |
| Lambeths | 5 |
| Resto de Londres | 9 |

Los casos se concentraban entre los que bebían el agua extraída con una bomba de un pozo situado en "Broad Street", que se había contaminado a partir de un pozo negro de una casa vecina. Una señora que vivía lejos enfermó, pero se comprobó que bebía agua de dicho pozo a la que estaba habituada por haber sido vecina del barrio; en cambio quedaron exentos los trabajadores de una cervecería de la zona pues bebían cerveza y tampoco hubo casos en una fábrica textil de la zona pues tenían pozo propio.

El papel transmisor del agua se confirmó en la gran epidemia de Hamburgo de 1892 que causó según Jochmann unos 18.000 casos con 7.000 muertes debida al consumo del agua del Elba sin filtrar, mientras que en Altona, unos km aguas abajo contaminada con las excretas de Hamburgo, que tomaba el agua filtrado desde 1882-83 para no beber directamente el agua con las excretas de Hamburgo, tuvo una incidencia notablemente menor. (El Ayuntamiento de Hamburgo tenía proyectado filtrar el agua en 1893).

La suficiente disponibilidad de agua potable no sólo protege de las enfermedades hídricas sino que mejora la salud pública. A finales de 1894 el Inspector de Higiene Dr. Reinckte observó que la depuración del agua de Hamburgo bajó la incidencia de la tifoidea del 47 a 7, por 10^5 pero además disminuyó la mortalidad general de 24 por 10^3 habi-

tantes a menos de 17. Este fenómeno fué confirmado por el Ingeniero americano Mills (fenómeno de Mills y Reincke) al observar que en Lawrence la mortalidad por tifoidea que era de 121 bajó por la depuración del agua a 26 y la mortalidad general de 24,4 descendió a 20. En España este fenómeno fue confirmado por Murillo en 1921 en Vendrell ciudad en la que se captó higiénicamente el agua después de la epidemia de cólera de 1911 viendo que la mortalidad general que era de 93,7 en los años 1904 a 1910, bajó a 75,5 en los de 1913 a 1919. Mestre y otros sanitarios españoles confirmaron esos resultados. El ingeniero americano Hazen formuló este hecho matemáticamente con el llamado teorema de Hazen de que “por cada defunción evitada de fiebre tifoidea se suprimen al mismo tiempo dos o tres defunciones debidas a otras causas especialmente por gastroenteritis y bronquitis”. Están correlacionadas entre la mortalidad infantil y la distancia de la vivienda a la fuente. El efecto inespecífico del agua se debe a que permite una mejor higiene y además es un indicador indirecto de una mejora sanitario social general. El tracoma, la sarna, la pediculosis, el pian etc. están relacionados con un pobre abastecimiento de agua. Heysen y col. (1986) vieron en Perú en 1981 correlación entre la cobertura de agua potable, (además del grado de utilización de los servicios médicos y el salario medio) con la esperanza de vida al nacer que era en todo el país de 58 años. Hebert (1985) encontró que la calidad del agua condicionó en 626 niños menores de 36 meses de tres ciudades de Madras los parámetros antropológicos especialmente el peso.

El agua origina anualmente unos 900 millones de casos de gastroenteritis que matan a 3 millones de personas, unos 900 casos de parasitosis por nematodos y unos 200 casos de esquistosomiasis. En 1971 murieron en la India 360 personas por cada 10^5 habitantes por infecciones entéricas. La depuración de las aguas, sobre todo a partir de la introducción por Alexander Houston de su cloración para atajar el brote de tifoidea de 1906 en Lincoln. ha hecho descender mucho la incidencia de las enfermedades hídricas en los países desarrollados, pero aún continúa siendo un grave problema en los subdesarrollados. En 1994 la OMS estimó que morían anualmente 10 millones de personas como consecuencia de la contaminación del agua y que el 80 % de las enfer-

medades y mas del 30 % de las defunciones de los países en desarrollo están relacionadas con la escasez o con la mala cantidad del agua.

En EEUU desde 1920 a 1990 se han producido estos brotes:

| Periodo | Numero medio de brotes anual | Número medio de casos por brote. |
|---------|------------------------------|----------------------------------|
| 1920-30 | 23,2 | 400 |
| 1931-40 | 30,6 | 339 |
| 1941-50 | 31,3 | 172 |
| 1951-60 | 11,1 | 112 |
| 1961-70 | 13,1 | 354 |
| 1971-80 | 32,6 | 241 |
| 1981-90 | 29,1 | 225 |
| 1920-90 | 20,2 | 221 |

| Las causas de esos brotes fueron: | Porcentajes |
|---|-------------|
| Aguas profundas sin tratar | 26,5 |
| Aguas profundas mal depuradas | 16,5 |
| Ingesta de agua en el baño | 14,1 |
| Inadecuada depuración de agua superficial | 15,1 |
| Deficiencias en la distribución | 12,4 |
| Deficiencias en la filtración | 5,8 |
| Ignorada | 3,8 |
| Agua superficial sin depurar | 3,4 |

En los Estados Unidos la morbilidad debida al agua de bebida representaba el 40 % de la general en 1908 y en 1960 solo el 1,4 %

Mil millones de personas no tienen acceso a agua potable y otros 1.700 millones no disponen de red de saneamiento, pero incluso en Europa mas de cien millones de personas no tienen agua corriente y otras 250 millones carecen de red eficaz de saneamiento.

En España tenemos estos datos:

En 1982 se produjeron 25 brotes de enfermedades hídricas .

En 1985 se declararon estos brotes:

| Microorganismo | Nº de brotes | Nº de afectados |
|--------------------------------|--------------|-------------------------|
| Salmonella s.p | 3 | 79 |
| S. enteritidis | 1 | 9 |
| S. Tryphimurium | 1 | 110 |
| E. coli | 3 | 497 |
| Shigella sonnei | 1 | 18 |
| Shigella flexneri | 1 | 12 |
| Rotavirus | 1 | 3 |
| Virus tipo Norwalk Desconocido | 1 | 1.828 |
| Total | 17 | 2.688 |
| | 29 | 5.244 |
| En 1986 fueron: | | |
| Salmonella sp | 1 | 60 |
| S. enteritidis | 1 | 14 |
| S.typhimurium | 1 | 134 |
| Shigella sonei | 7 | 395 (35 hospitalizados) |
| Desconocido | 27 | 2214 |

El máximo número de brotes se produjo en agosto con 13 y seguido de julio septiembre y octubre con 5 cada uno

Con objeto de optimizar el empleo de recursos en el abastecimiento higiénico de agua se han construido distintos modelos, que evalúan de diverso modo el abastecimiento de agua potable (cercanía a las viviendas, disponibilidad, calidad del agua, empleo de la misma etc.) comparándolos con indicadores de salud. El modelo de Cvjetanovic y Grab (1978) relaciona de forma sencilla los beneficios de las inversiones sanitarias con la reducción de la morbilidad por hídricas pero este y otros modelos son estáticos y no tienen en cuenta la permanente variabilidad de las condiciones en las que tiene lugar el estudio.

La OMS estableció en 1974 que podrían reducirse a la mitad las enfermedades diarreicas y la malnutrición en el tercer mundo mejorando el abastecimiento de agua y la eliminación de residuos. Esrey y cols. (1985) basados en 67 trabajos efectuados en 28 países determinaron que la mejora del abastecimiento de agua disminuiría en un 22 % la morbilidad y en un 21 % la mortalidad debida a diarreas. La ampliación en

1991 a 144 trabajos demostró que una adecuada depuración del agua reducía las enfermedades diarreicas un 26%, el tracoma un 27 %, la ascariasis un 29 %, la esquistosomiasis un 77 % y la dracunculiasis un 78%, con reducción aún mayor de su gravedad clínica. Estudios de casos-control efectuados por Young y col. (1988) en Malawi encontraron una disminución del 20 % en la incidencia de diarrea, Baltazar y cols. (1988) del 20 % en Filipinas, Daniels y cols. (1990) del 24 % en Lesoto. Wibow y col. (1993) en 14 distritos de Java en junio y julio de 1991 encontraron que la morbilidad y la mortalidad por diarreas eran inversamente proporcionales al producto del porcentaje de la población con agua potable por el porcentaje de la población con adecuada evacuación de excretas.

La llegada a un cauce de la décima parte de su caudal de su agua residual con 50 UFP por ml y con una eficacia de depuración natural del 90% hace llegar al grifo 5 virus por litro y si pasó previamente por una estación depuradora que reduce físicamente un 90 % los virus, unido a una depuración química con un rendimiento del 90%, daría un agua con una partícula cada dos litros, cantidad que suele estimarse como la que un adulto necesita para beber. Una buena depuración podría rebajar la concentración de UFP a 1 virión por 2 millones de litros es decir que se podría infectar diariamente una persona por millón de usuarios de los que alguno enfermaría. Cuando se alcanza un buen nivel de saneamiento la eficiencia de los recursos aplicados al saneamiento del agua disminuye. La repercusión de un suministro suficiente de agua potable en la salud sigue una curva logística de modo que cuando los niveles de saneamiento general son bajos, la eficacia es limitada y va aumentando exponencialmente a medida que la situación mejora. Esto pasa con otras actividades sanitarias. Por eso Walsh y col. (1979), Shival y cols.(1981) no encontraron que el abastecimiento y depuración del agua fueran eficaces para mejorar la Salud. La instalación de pozos en hogares en la zona del río Meghana de Bangladesh no redujo el cólera y Feachem y cols. ((1978) en Lesoto no encontraron disminución de enfermedades con programas de abastecimiento hídrico. Shiffman y cols (1978) no vieron diferencia en la incidencia de diarreas entre los habitantes de un pueblo guatemalteco que tenía un suministro moderno de agua respecto a otro sin él. Lo mismo encontraron Koopman y cols.

(1981) en Cali. Cuando la situación sanitario-social es buena la eficiencia del empleo de recursos en el saneamiento disminuye. Aunque la forma de la curva es universal los niveles en los que se efectúa la inflexión dependen de numerosos parámetros demográficos, económicos, sanitarios etc.

Paradójicamente el saneamiento del agua puede determinar un aumento de algunas enfermedades. Cuando hay una gran diseminación de los virus poliomiélicos, del de la hepatitis A entre otros, la mayoría de las infecciones que causan se dan en la infancia dando una gran frecuencia de casos inaparentes y benignos y raros los sintomáticos (parálisis en el caso de la polio) pero si el agua está depurada la infección se desplaza hacia edades mayores en las que la clínica es mas grave. Payne estableció que cuando la mortalidad infantil es superior a 100, la morbilidad de la parálisis poliomiélica es del orden de 2 por 10^5 y cuando la mortalidad infantil baja a 50 la morbilidad poliomiélica asciende a 20-50 y si la mortalidad infantil es de 250, la morbilidad por poliomiélica es de 1. Este fenómeno no es privativo de las hídricas pues también se produce en la rubeola, en la parotiditis, en la mononucleosis infecciosa etc.

TRANSMISIÓN DE MICROORGANISMOS POR EL AGUA.

El hombre utiliza el agua captada en todas las fases de su ciclo natural, para cubrir sus necesidades (bebida, limpieza, personal y doméstica, confeccionar alimentos, para la actividad industrial, como refrigerante y para riego) y una vez usada la devuelve al ciclo natural pero a menudo contaminada por numerosos productos químicos (y físicos como es el calor) y sobre todo con microorganismos que pueden ser patógenos. La contaminación puede tener lugar en cualquiera de las etapas del ciclo del agua, evaporación, nubes, lluvia, escorrentía, ríos, lagos, mar, filtración a través de la tierra, circulación freática, emergencia en pozos, fuentes, etc, La percolación en el suelo hace disminuir los microorganismos y a los 30 a 50 cm han desaparecido los enterovirus por su adsorción en las partículas de tierra en donde pueden persistir mucho, hasta que la llegada del agua las separa y moviliza por elución y por desorción pudiendo pasar a pozos, aguas superficiales etc.

En este ciclo, que supone movimiento, el agua se emplea de forma deliberada o no para arrastrar y diluir desechos industriales domésticos, excretas etc. El origen más importante de la contaminación del agua es el vertido directo de aguas residuales por medio del alcantarillado que aboca a aguas superficiales (ríos, lagos, embalses) desde donde por lixiviación del suelo pueden pasar a las aguas profundas y al final pueden contaminar el mar. También tienen importancia las filtraciones de pozos negros, o los cruces entre alcantarillas y conducciones. El hombre levantó sus ciudades en riberas no para captar fácilmente el agua sino para disponer de un sistema fácil de eliminar sus excretas aprovechando la propiedad de fluir del agua. Los romanos no tomaban el agua que necesitaban para beber del Tíber, sino del Arno a muchos kilómetros de distancia. La utilización del agua superficial especialmente la de los ríos como medio de eliminar aguas residuales hace que las ciudades situadas aguas abajo beban agua de alcantarilla como pasa con los habitantes de Agra, la ciudad del Taj Mahal, que beben el agua de las alcantarillas de Delhi. También el agua se puede contaminar con los riegos. Como media cada m^2 de tierra requiere al año $1 m^3$ de agua parte de la cual va a los cauces y parte se filtra en el suelo llegando al agua freática. Para poder evacuar aguas negras en tierra no se deben sobrepasar $100m^3$ por m^2 al año pues volúmenes mayores disminuyen la autodepuración que depende de la composición y estructura del suelo, de su microflora y de la temperatura.

El agua subterránea o freática suele tener menor carga microbiológica que la superficial pues el suelo retiene a muchos microorganismos y no ofrece medio adecuado para su persistencia y aún menos para su multiplicación. Comarro y cols (1988) encontraron en el agua de 80 pozos de las cercanías de Santiago de Compostela y de otras lugares de La Coruña que el 64 % tenían coliformes (el 24 % fecales y el 21 % *E. coli*), el 36 % estreptococos fecales, el 32 % clostridios sulfito reductores. En resumen solo el 25 % tenía agua potable y el 21 % aceptable previa cloración.,

La contaminación microbiológica del agua puede proceder de los cadáveres, excretas y productos de la gestación (como es el caso de la brucelosis) de los animales. Es importante diferenciar si la contaminación del agua procede de excretas humanas o animales. La presencia

de *Rhodococcus coprophilus* (Mara y col 1981, Oragui y col. 1983) y del *Streptococcus bovis* (Cooper y col. (1955), Tilton y col.(1967, Geldreich y col. (1969), Oragui, y col. (1981,1984) indican procedencia animal mientras que la de bifidobacterias, especialmente las cepas fermentadoras de sorbitol indican contaminación fecal humana (Resnick y col. 1981, Mara y col, 1983).

El origen más importante de la contaminación es sobre todo el hombre, portador o enfermo, quién excreta los agentes por vómitos, leche, orina y especialmente por las heces, que en ciertas enfermedades son diarreicas, que contienen enormes cantidades, ya que los microorganismos se reproducen en el intestino, y la *S. typhi* en el árbol biliar. Las heces humanas recientes pueden contener 10^{5-8} UFP (unidades formadoras de placas) o de otro modo 10 a 10.000 DICT₅₀(dosis capaz de infectar al 50 % de cultivos de tejidos).

Los gérmenes de las heces llegados al suelo, perviven un lapso que depende de las propiedades del suelo, de la temperatura, de la concurrencia microbiana etc. La desecación disminuye rápidamente la densidad de las bacterias entre ellas la de los coliformes de modo que a los 30 días solo queda el 1 %. La *S. typhi* puede resistir unos 15 días en heces sólidas o en el suelo seco y hasta 30 días si conserva la humedad; las otras salmonellas hasta 60 días y las shigellas hasta 70 días.

El agua no es un buen medio de cultivo, de modo que la supervivencia y aún más la multiplicación de los gérmenes es escasa, dependiendo de una serie de factores como la temperatura, materia orgánica, acidez, salinidad, oxígeno disuelto y la presencia de protozoos y fagos específicos de cada bacteria. En el agua los microorganismos están mas protegidos que en la tierra, pues no tienen el riesgo de la desecación, la concurrencia bacteriana es menor, y los UV solo actúan en los muy someros, mientras que en el agua están diseminados en diferentes profundidades.

| Germen | Medio | Días de supervivencia |
|------------------|---------|-----------------------|
| Coliformes | Suelo | 30 |
| | Tomates | 35 |
| Salmonella typhi | Suelo | 2 a 85 |

| | | |
|---------------------------|---------------------|---------------|
| | Vegetales | 7 a 53 |
| Shigella | Tomates | 2 a 7 |
| Vibrio cholerae | Espinacas, Lechugas | 22 a 23 |
| | Vegetales no ácidos | 2 |
| Bacilo de Koch | Suelo | Más de 2 años |
| | Rábano | 3 meses |
| Entamoeba histolytica | Vegetales | 3 |
| | Suelo | 8 |
| Huevos de ascaris | Suelo | Más de 7 años |
| Suelo | | |
| | Vegetales | 27 a 35 |
| Virus de la poliomyelitis | Suelo | 100 |
| | Rábanos, lechuga | 35 |

Los esporos bacterianos perviven años y algunos de forma indefinida. El viento, las escorrentías etc. llevan a los microorganismos al agua. El agua se puede además contaminar con basuras las cuales pueden contener heces por ej. la de los pañales arrojados a ellas.

En general, las epidemias hídricas se producen cuando no media mucho tiempo entre el momento de la contaminación del agua y su consumo, pues en este caso los gérmenes están expuestos durante menos tiempo a los mecanismos naturales de depuración.

Las catástrofes pueden provocar la contaminación de las aguas al favorecer la conexión de embalses, depósitos y conducciones con aguas residuales o contaminadas. El 14 de agosto de 1998 se desplomaron 500 m de un dique del río Nenjiang un día después de haberse comunicado la existencia de casi 600 casos de disentería en la zona de Harbin. Otra posibilidad es la contaminación deliberada del agua en guerras o sabotajes con microorganismos patógenos. (la adición al agua de toxinas bacterianas especialmente la botulínica no es guerra bacteriológica sino química, aunque el agente sea de procedencia biológica)

La mayoría de los problemas se deben al agua superficial. En las grandes poblaciones el abastecimiento de aguas consta de un sistema de captación del agua en su origen, de estación depuradora, de sistema de

conducción, de depósitos y una red de distribución. A mediados del siglo XIX se generaliza la contaminación microbiana del agua debido al aumento demográfico, al desarrollo industrial y a la urbanización. Las aguas superficiales están contaminadas sistemáticamente porque a ellas desembocan las aguas residuales, domésticas e industriales de las poblaciones asentadas en las cuencas. La contaminación microbiana en la captación se puede corregir en las estaciones de depuración, si funcionan bien pero la carga orgánica que pueden recibir puede causar la formación de trihalometanos y otros derivados con el cloro; más grave es la contaminación que se produce en las conducciones, depósitos y sobre todo en la red de distribución, por roturas, fugas y comunicación con aguas residuales, en especial cuando se reanuda el suministro por la succión, por el efecto de bomba de vacío pues el subsuelo de una gran ciudad está constituido por un laberinto de redes de los distintos servicios, con múltiples posibilidades de contaminación a través de la red de aguas residuales. Las epidemias más extensas se han producido por la contaminación de la red de abastecimiento. Una vez transcurrido el límite inferior del período de incubación, aparecen en un corto número de días una serie de casos que aumentan en número rápidamente; es la transmisión holomiótica. En el medio rural lo más frecuente es la contaminación de los pozos romanos por los pozos negros que se encuentran en sus inmediaciones, de las fuentes y manantiales por filtraciones a través de terrenos de cultivo abonados con excretas humanas, sobre todo después de las lluvias, o de las aguas subterráneas en terrenos calizos, por las grietas que se producen que hacen inoperantes los mecanismos de filtración natural.

Aunque, en general, cualquier bacteria patógena puede llegar al agua y propagarse por este medio, en la práctica esta posibilidad se limita a un corto número de gérmenes que, al eliminarse por las heces u orina de los enfermos o portadores, tienen mayores probabilidades de llegar a las aguas en cantidad suficiente para producir enfermedades que pueden manifestarse en forma epidémica.

El Código Alimentario Español, ya establecía en su artículo 3.27.11, que debían preferirse para captar el agua para el abastecimiento de núcleos urbanos en primer lugar el agua de manantiales o fuentes, luego la de pozos artesianos, en tercer lugar las aguas subálveas y finalmente las superficiales. En general las aguas superficiales, sobre todo aquellas

que reciben desagües domésticos son las más peligrosas pero hoy día no se puede considerar que un agua natural pueda ser utilizada sin depurar como bebida. Muy lejos estamos de aquello del Quijote (Cap XI, de la 1ª parte) “Dichosa edad y siglos dichosos...Las claras fuentes y corrientes ríos en magnífica abundancia sabrosas y transparentes aguas les ofrecían” o de “la claridad de las aguas del Ebro” a su paso por Zaragoza (Cap XXIX 2ª parte)

Se especula con la posibilidad de que los gérmenes en el agua puedan pasar a una forma durmiente en la que permanecen viables aunque o cultivables y que en un momento determinado pudieran producir la infección. Colwell y cols. en 1992 observaron que varias bacterias patógenas, entre ellas el vibrión cólerico en medios pobres en nutrientes, con una determinada concentración salina y baja temperatura, reducen su tamaño convirtiéndose en formas filtrables, que pueden sobrevivir durante años. Estas condiciones se dan en esteros y en ambientes marinos.

Las aguas subterráneas o freáticas, consideradas clásicamente como bacteriológicamente puras, están contaminadas, sobre todo las más someras, por la enorme carga microbiológica del suelo y de las aguas superficiales, las cuales, al llegar a determinadas zonas de fácil penetración (zonas de vulnerabilidad). sobre todo si hay diaclasas se mezclan con las subterráneas, contaminando peligrosamente los acuíferos. Hoy no hay fuente o pozo cuya agua se pueda beber sin riesgo, hecho habitual hasta los años cincuenta

Deben distinguirse los agentes en los que el agua solo sirve para diseminarlos sin que se multipliquen como pasa con los virus (algunos se pueden multiplicar en organismos acuáticos) y desde luego los fagos que no son patógenos. Los quistes de protozoos parásitos como los de las amebas, de giardias etc. ni los huevos de los metazoos se pueden multiplicar en el agua. La mayoría de las bacterias que llegan al agua no se reproducen en ella. Otras, si pueden hacerlo según las condiciones del hábitat. El desarrollo microbiano en la red de distribución puede deteriorar la calidad del agua (O'Connor y col. 1975) Bourbigot y col. 1984). Si se trata de patógenos su crecimiento pudiera suponer riesgo de infecciones teniendo en cuenta la débil concentración de cloro que puede existir en los terminales .

Un factor epidemiológico importante es la capacidad de los microorganismos patógenos para resistir y en algunos casos de multiplicarse que dependen, además del tipo de microorganismo, de las condiciones físicas y químicas del agua como temperatura, pH, concentración iónica, aireación, materias contenidas, exposición a la luz solar, flora del agua etc.

Los microorganismos y sobre todo los virus, se adsorben fácilmente a la arcilla, margas arenosas, materia orgánica, carbón activo, diatomeas, kaolinita, bentonita, algas bacterias vidrio, membranas, yeso etc. del agua en condiciones adecuadas pero al cambiar la temperatura, o el pH, se produce la desadsorción; los enterovirus se adsorben mucho hasta un 90 % en las partículas pero los rotavirus muy poco. Adheridas a partículas los virus prolongan su supervivencia. Smith y cols (1978) encontraron que los virus Echo y Coxsackie B3 perviven al menos 18 días, los poliovirus 14 y los Coxsackie A9 4 días en los cienos de los estuarios

Las partículas que miden más de 6 micras se sedimentan enseguida mientras que las de tres o menos micras quedan suspendidas mucho tiempo. La sedimentación elimina del agua a los virus adheridos a las partículas suspendidas, pero el limo actúa como depósito de virus ya que contiene entre 10 a 10,000 veces mas viriones que el agua contiguo. Gerba y cols encontraron en agua y sedimento marinos estas UFP

| Lugar de la investigación | UFP en 100 l de agua | IFP en 100 l de sedimento |
|--|----------------------|---------------------------|
| En de Hollywood | 0,3 | 3160 |
| En Miami | 0,5 | 2160 |
| Playa de Miami | 7,3 | 9830 |
| Canal costero de Texas a 1 m de afluencia de aguas negras | 160 | 2000 |
| Canal costero de Texas a 200 m de la afluencia de aguas negras | 90 | 2080 |

Las partículas de cieno se resuspenden por movimientos del agua, dragados, paso de barcos etc. y pueden ser llevadas lejos. Pese a ello se encuentran microorganismos entre ellos virus a 45 m de profundidad en suelos arenosos con alguna arcilla y limo regados por aspersión. Aparte el

sulfato aluminico, el hidróxido cálcico, las sales de hierro como polielectrolitos eliminan más del 99,99 % de los virus que no se inactivan pero quedan en los lodos. El aumento del pH por adición de hidróxido cálcico reduce mucho la cantidad de virus. El cloro no actúa si hay mucha materia orgánica, y su efecto depende de la concentración de materia orgánica, de su agregación en partículas, del pH y de la temperatura. Con 40 mg 000 se destruye el 99,9 % de los virus entre 3 a 120 minutos de contacto.

El desarrollo microbiano en la red de distribución puede deteriorar la calidad del agua (O'Connor y col. 1975) Bourbigot y col. 1984) Si se trata de patógenos su crecimiento pudiera suponer riesgo de infecciones teniendo en cuenta la débil concentración de cloro que puede existir en los terminales .

EL AGUA COMO MEDIO DE REPRODUCCIÓN

Los gérmenes patógenos sufren un proceso de dilución que constituye el principal mecanismo de autodepuración de las aguas. El agua no es un buen medio de cultivo, de modo que la supervivencia y aún más la multiplicación de los gérmenes es escasa. En estos casos el agua actúa solo diseminando los microorganismos que contiene. Pero el agua puede permitir el crecimiento bacteriano, según la temperatura, la concentración de la materia orgánica, acidez, salinidad, oxígeno disuelto y la presencia de protozoos y fagos.

1º Capacidad nutritiva del agua en los diversos medios como embalses, corrientes o conducciones. El agua puede permitir el crecimiento bacteriano si contiene pequeñas cantidades de carbono orgánico asimilable (COA) (van der Kooij y col.1982, Huck, 1990), especialmente de aminoácidos, péptidos, ácidos grasos e hidrocarburos, en tan mínimas cantidades que solo se pueden determinar por bioensayos complejos. El máximo crecimiento bacteriano (Nmax) que cada muestra de agua puede promover se determina bajo condiciones de trabajo estandarizadas utilizando cepas adecuadas de bacterias estándar o de mezclas de bacterias autóctonas haciendo el recuento en placas, o por turbidez o por ATP (van der Kooij y col., 1982, Jago y Stanfield 1984, Huck1990, Ribas y col.1991, Frías y col. (1992) El COA es una fracción del carbono orgánico biodegradable CODB, a su vez parte del carbono orgánico disuelto

COD y este a su vez del carbono orgánico total, CO, del que solo una mínima parte es asimilable por las bacterias, siempre que haya suficiente concentración de nitrógeno y de fósforo. La mayor parte de los ambientes hídricos naturales, incluyendo las conducciones de agua para bebida, tienen bajas concentraciones de nutrientes, especialmente de carbono orgánico (Morita 1988, Matin y col. 1989). Se conoce la afinidad de muchas bacterias del agua para diferentes compuestos orgánicos (van der Kooij y col. 1982; van der Kooij y Hijnen 1983, 1985). Nakamura y col. (1989). El COA se evalúa midiendo el consumo del carbono orgánico disuelto incubando el agua con una suspensión de bacterias autóctonas o con arena conteniendo bacterias con gran capacidad de biodegradar. (Joret y Levi, 1986; Servais y col. 1987). Van der Kooij y col. (1982) midieron la concentración del carbono orgánico asimilable en el agua de bebida evaluando el crecimiento de la cepa P17 de *Pseudomonas fluorescens*, específica del agua, muy versátil nutritivamente, capaz de multiplicarse con fuentes de nitrógeno simples como el acetato, sin requerir factores de crecimiento especiales pero como la cinética de crecimiento del P17 depende de muchos factores, no se debe considerar como método estándar.

2° Concentración de oxígeno. Demanda bioquímica de oxígeno del agua. El agua natural contiene entre 300 y 500 mg 000 de oxígeno disuelto por litro, procedente de la fotosíntesis pero sobre todo de la disolución del oxígeno atmosférico; por eso las aguas profundas contienen poco oxígeno. Los organismos aeróbicos especialmente si hay luz lo consumen en su respiración. La concentración de oxígeno disminuye con la temperatura porque aumenta la volatilidad y el consumo aeróbico del oxígeno; y así un litro a 10°C contiene como media 14,5 mg; a 15°C 10 mg y a 20°C 9 mg.

La mayor parte de la materia orgánica es biodegradable, oxidándose con el oxígeno sirviendo de nutrientes a organismos acuáticos especialmente a las bacterias y protozoos.

La cantidad de oxígeno necesaria para estabilizar las sustancias orgánicas biodegradables se denomina "demanda bioquímica de oxígeno" abreviadamente DBO. La DBO se puede medir al cabo de diversos tiempos. En general se emplea la DBO₅ es decir al cabo de cinco días. Se determina por métodos manométricos que utilizan mercurio con sus incon-

venientes. El Oxitop de la casa WTW no requiere mercurio que controla la temperatura y la agitación con lectura digital que mide valores de DBO desde 0 a 5.000 mg por litro.

La demanda química de oxígeno, DCO o DQO, es el oxígeno que requieren las materias oxidables del agua para su oxidación espontánea. Las sustancias inorgánicas y una parte de las orgánicas como los pesticidas, no son reductoras, y por ello no disminuyen el oxígeno disuelto.

En general, un agua con menos de 4 mg/l de oxígeno disuelto no es apta para el desarrollo de la vida en su seno. Esta carencia de oxígeno aparece en aguas profundas o muy polucionadas.

3° Autodepuración. Se suele decir que la dilución es el mejor mecanismo de depuración del agua pero en realidad lo que hace la dilución es disminuir la probabilidad de que, si se bebe el agua se produzca enfermedad a expensas de extender topográficamente el riesgo. La sedimentación que tiene lugar cuando la velocidad de la corriente es inferior a 0,3 m por segundo, contribuye a eliminar microorganismos del agua pero los mantiene en el cieno; cuando se remueve el cieno por las crecidas etc. se resuspenden los gérmenes. La autodepuración se produce por la oxidación de los compuestos orgánicos, entre ellos los microorganismos que se descomponen y mineralizan, proceso realizado por los propios microorganismos, en general bacterias, del agua natural o de los vertidos.

La llegada a una colección de agua de materia orgánica, procedente de aguas residuales, desechos de fábricas (mataderos, mercados, fábricas de conservas), vertidos de basuras, lavaderos, fábricas de papel, etc. a agua dulce o salada se producen reacciones de precipitación, coagulación y floculación. Por ejemplo, los jabones forman productos insolubles o coloidales con el calcio y magnesio del agua del mar, sedimentando el precipitado o enturbiando el agua. Ello origina trastornos en la fauna del fondo o, en el segundo caso, al disminuir el paso de la luz, baja la productividad del medio marino. Otros cambios químicos son la formación de bicarbonato cálcico por la reacción del hidrato cálcico con el anhídrido carbónico disuelto en el agua. Los bicarbonatos reaccionan con los ácidos llegados al agua, formando sales insolubles que precipitan. El aporte de materia orgánica origina una serie de cambios por procesos físico-químicos y sobre todo biológicos, del agua receptora, fácilmente observables en los ríos, que se suceden secuencialmente en el espacio y

en el tiempo desde el punto y momento de la llegada del efluente diferenciándose cuatro tramos de longitud variable según la actividad biológica relacionada con la degradación de la materia orgánica hasta su mineralización al transformarse en nitratos.

Los cuatro tramos o zonas son:

1° Zona de degradación, o polisapróbica. En ella la polución es elevada, con abundante materia orgánica mucha de ella putrefacta por el inicio de su descomposición por las bacterias que consumen mucho oxígeno por lo que este gas disminuye rápidamente, dejando solo el 40 % de saturación. Las formas superiores de vida, vegetales verdes y animales (peces, crustáceos, moluscos, anfibios etc) desaparecen siendo reemplazadas por otras inferiores más tolerantes como las bacterias anaerobias. Las aguas en esta zona tienen aspecto sucio, con producción de indol, de escatol etc.

2° La zona de descomposición activa o alfa-mesosapróbica en la que desaparece el oxígeno disuelto y la DBO es muy alta y hay por ello un gran desarrollo de los gérmenes anaeróbicos que descomponen a la materia orgánica. Las aguas tienen un aspecto parduzco o negro, apareciendo lodos flotantes y sedimentos negruzcos por el sulfuro ferroso formado. La putrefacción de las proteínas origina aminoácidos, alcoholes y metano, amoniacal y sulfhídrico, la de los hidrocarbonados ácidos grasos, alcoholes, indol; se desprende hidrógeno y anhídrico carbónico. La descomposición de las grasas libera ácidos grasos, glicerina, alcoholes, así como hidrógeno y carbónico. El amoniacal y el sulfhídrico y otros gases dan olor nauseabundo. Esta fase termina cuando la tangente de la curva de la concentración del nitrógeno amoniacal en su punto más alto llega a 0,4. La cenobiosis está formada casi exclusivamente por polisaprobios que llegan a tener una concentración de un millón por ml. Típico de esta zona es el *Sphaerotilus natans* que es una clamidobacteriacea que forma el "sewage fungus" es decir una masa blancuzca a grisácea en la que se desarrollan hongos, bacterias y protozoos. También contiene *Beaggiática alba*, *Zooglea ramigiera*, y algas de los géneros *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Spirulina*, *Anabena* etc. En el cieno se desarrollan los rotíferos *Rotaria neptunia* y *Rotaria* así como metazoos que resisten al amoniacal y al sulfhídrico y viven en el fondo, respirando el escasísimo oxígeno disuelto. Hay predominio de la asimilación de la materia orgánica que deja en

los márgenes unos depósitos mucosos. En el limo hay anélidos del género *Tubifex*

3° La zona de recuperación o beta-mesosapróbica de más duración y por ello es en ríos mas larga que la anterior, el agua va adquiriendo gradualmente sus condiciones normales, empieza a haber oxígeno disuelto, la DBO disminuye aparecen gérmenes aerobios, algas aerobias con clorofila esquizomicetos filamentosos que se desarrollan en márgenes y cieno flora que inicia la oxidación de los materiales, desapareciendo la putrefacción y los malos olores, aunque se siguen transformando los materiales orgánicos que no lo hicieron en la fase anterior y los aminoácidos, los ácidos grasos se transforman en cuerpos más simples y el nitrógeno de la materia orgánica se ha convertido en nitritos y luego en nitratos, los alcoholes y los ácidos grasos se descomponen en CO₂ y en agua. La turbidez disminuye, dejando pasar luz y por la existencia de sales aparecen algas, y vegetales que por su función clorofílica liberan oxígeno que pasa al agua. Se desarrollan diatomeas de los géneros *Fragilaria*, *Stenphanodiscus*, *Cosmarium*, *Navícula*, *Nitzchia*, *Diatoma*, *Cyclotella*, *Melosira*, *Surirella*, *Synedra*, *Cloesterium* y un gran número de cianofíceas y clorofíceas que aumentan a medida que mejora la calidad del agua. Hacen su aparición protozoos que se nutren de bacterias como la *Euglena viridis*, flagelado con clorofila, los también flagelados *Bodo putridus*, *Cercobodo longicauda*, *Oicomonas mutabilis* y ciliados como el *Paramecium putrinum*, el *Colpidium colpoda*, el *Chilodonella cucullus*, la *Verticella microstoma*, los *Glaucoma scintillaris* y *pyriformis* etc. Adheridas a las piedras viven larvas del género *Chironomida* aprovechando el escaso oxígeno así como las larvas de *Culex*, *Eristalis* y *Psicodidae* que respiran el oxígeno del aire. El sulfhídrico y el sulfuro cálcico pasan a sulfato cálcico que se precipita. Las sales ferrosas pasan a férricas, el sulfuro ferroso a hidrato férrico. Las aguas se van volviendo más claras, reaparecen los vegetales verdes y se va elevando progresivamente el contenido de oxígeno hasta que su contenido se acerca a la saturación.

Si la carga orgánica del agua ha sido excesiva, para el caudal hídrico se produce la eutrofización por el desarrollo explosivo de microorganismos saprofitos algas y plantas que puede llegar a dificultar la navegación, bloquear las tomas de agua y como consecuencia de su enorme desarrollo agotan el oxígeno del agua impidiendo la vida de ve-

getales y de peces y la descomposición aeróbica de la materia orgánica etc. Se debe al aporte de nutrientes como nitratos, fosfatos (de los abonos y de los detergentes) y a los formados en las fases anteriores de la autodepuración y a veces de vitaminas de las aguas residuales; en cambio hay gran desarrollo de anaerobios que producen la putrefacción de la materia orgánica. El ecosistema se degrada, perdiendo su capacidad de regeneración. El fósforo y el nitrógeno aportados por las aguas residuales estimulan el crecimiento incontrolado de algas en los lagos, embalses y cauces de los ríos y en el mar. Las algas verdeazules *Aphanizomenon flosaquae*, la *Anabaena spiroides* y la *Oscillatoria rubescens* inicialmente, por la fotosíntesis, oxigenan el agua pero a medida que mueren se pudren absorbiendo oxígeno. El desarrollo de algas cianofíceas determina la formación de toxinas peligrosas para otros seres acuáticos, y además pueden provocar trastornos respiratorios, gastroenteritis y dermatosis. El desarrollo desmesurado de las algas altera enormemente la calidad de las aguas, que adquieren mal sabor y olor y a veces llegan a obstruir las salidas del agua. La eutrofización es casi universal estando en casi todas partes superada la capacidad de autodepuración natural.

4° Zona de aguas limpias u oligosapróbica. En ella el agua tiene características casi similares a las de las aguas limpias naturales, existiendo en su seno de forma normal la vida vegetal y animal propias de las corrientes que solo tienen la polución natural o geoquímica. Esta fase, termina cuando la tangente de la curva de variación del nitrógeno de los nitratos es menor de 0,3 en la proximidad del máximo aunque Elvira, para que coincida con la aparición de los saprobios alarga a menos de 0,1. La flora microbiana, muy disminuida, está formada por oligosaprobios aunque en el lodo persisten mesosaprobios y reaparece el fito y el zooplancton (ya habían aparecido antes los rotíferos) que captan sales.

5° Zona de pureza xenosaprobica o kataróbica. Está caracterizada porque el agua tiene las propiedades normales del agua natural. Aparecen batracios y a partir de 2,5 mg de oxígeno por litro aparecen los peces (las truchas a a partir de los 5 mg) Contiene una flora autotrofa, variada especialmente compuesta por *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Xanthomonas*, *Flavobacterium*, *Klebsiella*, *Arthrobacter*, *Corynebacterium* y *Bacillus*, los cuales se aíslan a menudo en agua de bebida (LeChevalier y col., 1980 ; Reasoner y col.1989; van der Kooij y col., 1982 ; van der Kooij y

Hijnen, 1985, 1988). Los gérmenes están suspendidos de forma aislada o en pequeños grupos o fijados a las partículas minerales u orgánicas constituyendo la flora epipsámica, o adherida a la superficie de los vegetales (epifita) o a la de los animales acuáticos (epizoica) y por bacterias de la flora epibéntica del suelo que recubren las piedras y el cieno de la que forman parte las bacterias-algas del tipo de las *Spherotillia*, *Crenothrix*, *Gallionella*, *Beggiatoa* que forman grandes masas. También puede contener ferrobacterias con cubierta mucilaginosa en la que están embebidos hidróxidos trivalentes de hierro y de manganeso tinguibles por ello selectivamente con ferrocianuro potásico y clorhídrico diluido. El agua contiene también sulfobacterias. Los fagos se desarrollan sobre bacterias específicas pudiendo servir de indicadores de su presencia en el agua. Otro germen acuático es el *Bdellovibrio bacteriovorus* procedente del suelo o de las aguas residuales, se fija sobre los gérmenes destruyéndolos por enzimas proteolíticas.

Se puede cuantificar la situación de un tramo de un río o una zona de un depósito utilizando diversos criterios. Los índices bióticos, relacionan la fauna macroinvertebrada con la calidad del agua pues los tramos contaminados contienen fauna homogénea muy tolerante a los contaminantes, mientras que las zonas limpias contienen flora variada de especies intolerantes a la contaminación. El índice de Chandler (1970) y el semejante de Woodiwis (1964) se basa en la presencia de macroinvertebrados bénticos adheridos a las piedras según grupos y fue aplicado por este autor en el río inglés "Trent".

| Macroinvertebrado presente | | 0 a 1 grupo | 2 a 5 grupos | 6 a 10 grupos | 11 a 15 grupos | 16 y más grupos |
|----------------------------|--|-------------|--------------|---------------|----------------|-----------------|
| Ninfas de Pleoptera | Mas de una especie | - | VII | VIII | IX | X |
| | Solo una especie | - | VI | VII | VIII | IX |
| Ninfas de Ephemeroptera | Mas de una especie excluyendo el <i>Beatis rhodoni</i> | - | VI | VII | VIII | IX |
| | Solo una especie excluyendo el <i>Beatis rhodoni</i> | - | V | VI | VII | VIII |
| Larvas de Trichoptera | Mas de una especie incluyendo el <i>Beatis</i> | - | V | VI | VII | VIII |

| | | | | | | | |
|--|---|-----|-----|-----|----|-----|--|
| | rhodani | | | | | | |
| | Sola una especie incluyendo el <i>Beatis rhodani</i> | IV | IV | V | VI | VII | |
| Gammarius | Todas las especies anteriores ausentes | III | IV | V | VI | VII | |
| Asellus | Todas las especies anteriores ausentes | II | III | IV | V | VI | |
| Gusanos tubífid y/o larvas de Chironómidos | Todas las especies anteriores ausentes | I | II | III | IV | - | |
| Todos los tipos anteriores ausentes | Algunos organismos que no requieren oxígeno disuelto como <i>Eristalis</i> pueden estar presentes | 0 | I | II | - | . | |

Fernández Leborata y Fernández Galiano (1979) utilizan lo que llaman valencias sapróbicas de cada especie de ciliado, teniendo en cuenta: los límites físico-químicos y bióticos de cada clase, las características físico-químicas del agua (temperatura, materia orgánica y condiciones respiratorias) y los valores obtenidos por Zelinka y Marvan 1961; Sladeczek 1969; Bick 1972). Unas especies se desarrollan en determinadas estaciones mientras que otras se encuentran durante todo el año. Hay relación inversa entre el contenido de gérmenes incluida la *S. typhi* y los flagelados *Bodo butans* y *Bodo ovatus* (Hüntemuller 1905) y con el *Colpoda cucullus* (Storvis y col.1911) efecto que podría ser casual o debido a un efecto depurador de esos flagelados.

PAPEL VEHICULADOR DEL AGUA

Los esporos del agua no producen directamente enfermedad pero por ej. la contaminación de una herida por esporos de clostridios del agua puede producir gangrena o tétanos; la ingesta de agua con ellos puede determinar la colonización intestinal que podría causar septicemias. Esa agua puede contaminar alimentos en los que los *Clostridium perfringens* y el *botulinicum s* producen toxinas. Se han encontrado esporos del *C. botulinum* en aguas costeras del Japón, Países Bálticos, Francia etc. El agua

participa en la transmisión contaminando pastos con esporas de *B. Anthracis*.

El agua puede vehiculizar quistes de protozoos dotados de fuerte pared. Los resistentes huevos de los nematodos *ascaris*, *trichocephalos*, larvas de *anquilostomas*, *necator*, *strongiloides*, *toxocaras* (*canis* y *cati*) etc. suelen ser depositados en el suelo desde donde pueden llegar al agua. En cambio el agua no transmite la oxiuriasis ya que el huevo se rompe en el agua. Los huevos de los cestodos protegidos por fuertes envolturas pueden llegar al agua y desde ella a los huéspedes intermediarios; los huevos de las tenias pueden causar cisticercosis en bóvidos en el caso de la tenia *saginata* o en el cerdo y hasta en el hombre el de la *solium*. También pueden llegar al agua el gusano de Medina o de Guinea, el *racunculus medinensis* o pequeño dragón de Medina, que probablemente eran las feroces serpientes que atacaron a los israelitas después de atravesar el Mar Rojo, común en muchas áreas tropicales.

Además el agua puede servir de hábitat a larvas de *Aedes* vectores de la fiebre amarilla por *Aedes*, de *Anopheles* que lo son del paludismo, de *Culex*, *Chrisops*, *Cyclops* vehiculadores de la dracunculosis. Los *Simulium damnosum* y *narvi* en Africa y el *S. othraceum* en América Central, culícidos de aguas limpias y rápidas vehiculan las larvas de filarias y de *Wuchereria* y de la *Onchocerca volvulus* que vive en el tejido subcutáneo y conectivo del hospedador y otros culícidos transmisores de arbovirosis. En el agua se desarrollan moluscos, crustáceos, peces y plantas que actúan como hospedadores intermedios de fasciolas. El Jacinto de agua, la *Eichhornia crassipes* y las algas además de alterar el agua, sirven de hábitats a caracoles que pueden servir de reservorios a bilharzias, dracunculos, *trichostrongiloides* etc.

También el agua puede actuar como hábitat de metazoos como los trematodos causantes de la fasciolosis (*F. hepática* y gigante), esquistosomiasis que tienen como hospedador intermedio a caracoles acuáticos de los géneros *Limnaea* mas vegetación acuática en la que se enquistan las metacercarias de *Fasciola hepática* o la de la *F. busckii* (*Planorbis* más vegetación acuática). El *Dibothriocephalus latus* requiere para cumplir su ciclo *Cyclops*, crustáceos y peces del agua dulce como los sollos, percas etc. Los caracoles *Planorbis* con la vegetación en la que se desarrolla la *F. busckii* cercarias las *Bilharzias hamatobium*, la *mansoni*, la *japonica ubi-*

cuas. Los trematodes pulmonares el *Clonorchis sinensis* y *felineus*, el *Paragonimus westermanni* solo afectan áreas limitadas. *Oncomelania*, *Bulinus*, etc. o bien de copepodos como los *Cyclops* en los que se desarrollan formas larvianas de botriocéfalos y dracunculosis (*D medinensis*).

Lima y cols. (1987) obtuvieron datos del 99 % de los hogares y del 82% de los habitantes de Comercinho al sureste de Brasil encontrando mas tasas de personas con huevos de *S mansoni* en aquellos hogares en los que el cabeza de familia realizaba trabajos manuales, y en los que no tenían agua al grifo . Había menos en los mayores de 15 años.

LA TRANSMISIÓN POR EL AGUA COMO BEBIDA.

El principal mecanismo de transmisión de enfermedades por el agua es su utilización como bebida o al consumir alimentos contaminados por el agua de riego con microorganismos o confeccionados con agua contaminada o por el consumo de verduras crudas abonadas o regadas con aguas residuales. Hay casos curiosos como la transmisión de salmonelosis por pollos a los que se había inyectado subcutáneamente agua para aumentar su peso.

Por ser la digestiva la puerta de entrada de las infecciones hídricas los agentes además de su capacidad de pervivencia en el suelo y en el agua, deben resistir las condiciones del aparato digestivo especialmente el pH ácido gástrico. Los gérmenes del agua pueden salvar el pH ácido pues el agua circula desde el esófago al duodeno sin quedar en el estómago y además el agua diluye el jugo gástrico. La aquilia o los tratamientos alcalinos como los que se empleaban antiguamente para tratar las gastritis y la úlcera favorecen la infección por el *V. colérico*, por la *S. typhi* etc.

Las aguas envasadas suponen menos riesgo siempre que su captación y envasado se hayan efectuado correctamente. En caso contrario han provocado brotes. Es erróneo creer que las bebidas carbonatadas por su CO₂ y alto contenido de azúcar de algunas de ellas no tienen riesgo La transmisión hídrica puede producirse por la contaminación marina por vertidos fluviales o de alcantarillados o bien por agua usada como lastre y que se vierte en puertos para cargar a los barcos con mercancías. El cloruro sódico del mar no disminuye el riesgo. French e Hill (1970) vieron

aguas muy salinas del Golfo Pérsico contaminadas por varios miles de ovejitas importadas que se ahogaron. El agua del mar transmite gérmenes entre ellos el *V. parahaemolyticus* (la Y) 000. Por eso no pueden autorizarse vertidos al mar de efluentes con más de 5 *E. coli* por ml según expresan las normas para el vertido, proyecto y ejecución de instalaciones depuradoras y vertidos de aguas residuales al mar (aprobadas con carácter provisional en BOE de 20 de junio de 1969). La vigilancia del agua de mar debe hacerse tomando muestras a 5, 10 y 50 m de la orilla y a 25 m de profundidad

LA TRANSMISIÓN DE ENFERMEDADES HÍDRICAS POR PECES Y MOLUSCOS Z.

Los lamelibranquios bivalvos (Ostras, mejillones, berberechos etc.) desarrollados naturalmente o en viveros se contaminan con los microorganismos del agua de mar que retienen para nutrirse filtrando para ello entre 4 a 20 litros de agua a la hora. Los casos que aparecieron al final de la epidemia cólera de 1975 en Galicia se debieron al consumo de moluscos contaminados por los aportes del vibrión colérico de las aguas fluviales. Moreno y col. (1977) en 17 muestras de mejillones sin depurar procedentes de la ría de Arosa encontraron entre 0,13 y $16,5 \times 10^4$ gérmenes por ml. El 24% de las muestras tenía menos de 10 coliformes por ml como NMP; el 35 % tenía 11 a 100; el 29 % entre 101 y 1000 y el 12% más de 1000. Los pescaditos crudos comidos en la propia playa causaron el brote de cólera de Málaga de 1978.

La epidemia de cólera surgida a finales de enero de 1991 en Perú se debió al consumo de peces y moluscos contaminados por el agua de lastre o de contenedores de un barco que había tocado puertos asiáticos y que fue vertida en puertos peruanos, comidos crudos o insuficientemente cocidos. Efectivamente el *V. cholerae* 01 fue aislado del agua de mar y de dos pescados (*Austromenidia regia*) capturados cerca de los desagües municipales en Chancay y en el sur de Lima. En abril de 1991 se produjo el contagio de varios residentes en New Jersey y poco después la de cuatro de Nueva York por carne de cangrejo transportada ilegalmente en una valija desde Ecuador. Igualmente una ensalada de langostinos servida en un vuelo de Buenos Aires a Los Angeles con escala en Lima en febrero

de 1992 causó el cólera a 97 de los 336 pasajeros y a 17 de los 20 tripulantes.

LA TRANSMISIÓN POR EL AGUA USADA PARA BAÑOS

Más raramente se puede producir la transmisión al bañarse en agua de mar o dulce. Aunque, no haya nadado y sin que aparentemente no SE haya tragado agua, entra en el bañista casi sistemáticamente por nariz y por boca 10 a 50 ml de agua, pero debido a la baja concentración de patógenos por la dilución es raro que entre la dosis infectante incluso en aguas muy contaminadas. (salvo que al bañarse hayan consumido moluscos encontrados en la arena. Hay que tener en cuenta que al bañarse se remueve el sedimento. En 1958 se produjo un brote de tifoidea en Perth (Australia); el caso inicial fue un niño de 12 años que estuvo nadando en la playa y luego aparecieron otros 15 casos de los que 10 se habían bañado en la misma playa. Se aislaron en los enfermos 10 cepas de 5 fagotipos lo que indica probable contaminación fecal ya que los casos provocados por portadores suelen pertenecer a un mismo fagotipo; sin embargo no se logró aislar la *S typhi* ni de las aguas residuales ni en la del mar. No obstante no deben utilizarse para el baño agua contaminadas. En las piscinas se transmiten Chlamidias productoras de conjuntivitis y adenovirus, las amebas de vida libre (ls amebas *Limax* pueden albergar bacterias entéricas Jadin 1978). Son saprofitas las del género *Vanella* Las *Vanella Mira* y *platypodia* son las mas frecuentes en piscinas (Bovee 1965), incluso en las de servicios de rehabilitación, en los refrigeradores, en agua para enjuagar la boca en odontología,. Ariza y cols. (1989) encuentran las especies *simplex*, *platypodia*, *mira* y *miroides* en agua dulce que pueden causar encefalitis. En los baños el agente entra por vía oral pero hay casos en los que penetra activamente como pasa con las leptospiras del agua contaminada por la orina de diversos animales como ratas, ratones, bóvidos, (cada ml de orina puede contener 100 millones de leptospiras) équidos, suidos etc. Si el ph no es ácido, las leptospiras persisten semanas en el agua. El germen entra por mucosas entre ellas la conjuntival, la respiratoria y la digestiva si se bebe el agua pero especialmente a través de la piel con mínimas soluciones de continuidad (heridas, excoriaciones) o por la simple maceración causada por el agua. La infección se puede pro-

ducir por contacto con aguas residuales (empleados en la limpieza de alcantarillas), con agua de ríos o canales (pescadores, excursionistas, empleados en la limpieza de canales o acequias), o terrenos encharcados (trabajadores del campo, empleados en mataderos, mineros, poceros etc.). En Veluwe (Holanda) se presentaron tres casos por contaminación a partir de las aguas residuales. El agua de piscinas, balnearios etc. puede servir de vehículo de micosis como el Pié de atleta en los bañistas.

La *Acanthamoeba* spp. puede causar queratitis con infiltración, ulceración, opacificación e hipopión con intenso dolor y para cuyo tratamiento se requiere instilar durante cuatro semanas colirios a base de derivados de propamidina, imidazoles, hexamidina, aminoglucósidos y polimixinas. Jones y cols. (1995) describieron el primer caso originado por el lavado con agua de un río, de un ojo lesionado debido a la *A. polyphaga* y uveítis con meningoencefalitis letal; desde entonces se han publicado algunos otros casos especialmente en portadores de lentes de contacto entre ellas una acaecida en dos pacientes canarios en los que en el raspado de sus lesiones y en el agua en la que se conservaban las lenti-llas Miguel y cols.(199) encontraron trofozoitos y quistes de *Acanthamoeba*, además de *Proteus mirabilis* en uno y de *E coli* en otro.

La Guía para la “Elaboración de normas respecto al Medio en Atención Primaria de Salud” clasificó las aguas costeras respecto al baño según el número de *E.coli* contenidas en 100 ml como : 1º Aptas. Si tienen menos de 100, 2º Tolerables las que contienen entre 100 y 1.000 y 3º Nocivas las que tienen más de 1.000. En cada zona de baño se analizarán, además de los coliformes fecales, los estreptococos fecales y clostridios sulfito-reductores para confirmar el origen de la contaminación fecal (remota o próxima). debiendo tener por litro menos de 10 mg de materia orgánica 0,5 mg de amoníaco, de 0,5 de nitritos, 100 de nitratos. Los análisis deben efectuarse según los métodos oficiales de análisis microbiológico dispuestos en la Orden de 27 de julio de 1983 del Ministerio de Sanidad.

LA TRANSMISIÓN DE PROCESOS POR AEROSOLES DE AGUA

Otro mecanismo de transmisión relacionado con el agua es la inhalación de aerosoles de agua contaminada con virus o con legionellas.

Los aerosoles de 0,2 a 2 micras pueden contener hasta 100 bacterias, llegar a los alvéolos (los mayores se quedan atrapadas en el moco de las vías respiratorias superiores) atravesando su pared. El agua especialmente las negras sobre todo en las estaciones depuradoras al inyectar aire, desprenden burbujas de gases a cuya cubierta líquida se adhieren partículas conteniendo microorganismos que se concentran en ellas mas de 100 veces. También el viento arranca de las superficies hídricas, aerosoles que pueden vehicular microorganismos. El riego por aspersión transforma entre el 0,1 al 1 % del agua según el aparato, la presión y la velocidad, en aerosoles que pueden ser transportados por el viento a mas de 2000 metros (Parker y cols. 1977 las encuentra a 25 km.). Estos aerosoles pueden infectar al hombre por vía respiratoria y como los casos quedan dispersos no se suele atribuir al agua el origen del cuadro. Los enterovirus se pueden transmitir por este mecanismo. Katznelson y cols.(1976) vieron en Israel que los habitantes de viviendas cercanas a plantas de tratamiento de aguas residuales que regaban por aspersión con el efluente de los estanques de oxidación tenían 2 a 4 veces más tifoidea, salmonellosis, shigellosis y hepatitis que los controles. El mecanismo habitual de transmisión de la Legionella pneumophilla y de las otras legionellas, es por aerosoles de agua que contienen legionellas que se habían desarrollado en acondicionadores de aire, griferías y alcachofas de duchas. Los humidificadores de aire también pueden contaminarse con actinomicetos, hongos que producen anticuerpos precipitantes. Se ha encontrado Naegleria gruberi en reservorios de agua y en el polvo de una fabrica de rayón causando alveolitis alérgica extrínseca.

Los taladros de alta velocidad y otros aparatos odontológicos a base de ultrasonidos puede producir aerosoles contaminados por el agua suministrada aunque esté clorada pues puede haber muy poco cloro en el grifo.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS ENFERMEDADES HÍDRICAS.

1° Los brotes y epidemias hídricas afectan solo o de modo predominante a los consumidores del agua contaminada por lo que tienen una distribución geográfica determinada..

2° Clásicamente las enfermedades hídricas afectaban a muchas personas en un corto tiempo (holomiánticas) ya que si se contamina un abastecimiento se infectarán todos los que beben ese agua produciendo un brote o epidemia holomiántica, característica clásica de las enfermedades transmitidas por el agua. En el caso de una contaminación única cuando ha transcurrido el periodo de incubación mínimo empiezan a aparecer casos que aumentan a medida que se llega al periodo de incubación medio. Por ej. en el caso de la tifoidea empiezan a aparecer casos a los 9 a 15 días con máximo a los 24 a 30 días; se mantiene el número más o menos constante unos cuantos días, para ir descendiendo más lentamente. Si la contaminación es continua la evolución de la epidemia es menos escarpada. Una gran inclinación de la gráfica de los casos incidentes implica una única fuente, mientras que si hay varias, la línea es mas tendida. Cada vez son menos probables las epidemias holomiánticas pues actualmente el agua contiene pocas bacterias y desde luego virus de modo que la dosis infectante la reciben muy pocas personas y de estas no hay muchos susceptibles de modo que los casos son esporádicos. La Dosis infecciosa en teoría es un solo microorganismo viable, pero hay que aumentar este número supere las barreras defensivas del operador, de modo que una dosis infectante de un solo germen, la tienen muy pocos microorganismos, como los enterovirus, mientras que la mayoría tienen un $DICT_{50}$ entre 10 a 10.000 y varios miles en el caso de las bacterias.

Una vez inicia una epidemia, brote o incluso un solo caso transmitido por el agua, pueden seguir apareciendo casos, algunos prosodemáticamente, por contagio desde los enfermos o desde los portadores que se han ido produciendo llegando a hacer irreconocible el origen hídrico de la misma. Los agentes causales no siempre se transmiten por el

agua y los que se excretan por las heces se pueden transmitir por las manos sucias causando enfermedades prosodémicas que se extienden en mancha de aceite o contaminando alimentos.

3° A menudo se aísla el agente en el agua de abastecimiento . Sin embargo a veces ha desaparecido cuando se toman las muestras. Tampoco basta la presencia de un microorganismo como una *salmonella*, una *shigella* o una *E. coli* en un agua para achacar a este la etiología del brote o epidemia ni al agua su transmisión. Incluso a menudo la contaminación se debe a los casos infectados por otros mecanismos.

4° La supresión de la fuente o la depuración del agua suprime o al menos disminuye la incidencia

5° Las bacterianas suelen presentarse mas en verano, pues aunque el frío conserva a los gérmenes, el calor suministra mejores condiciones para multiplicarse

6° Hay pocas diferencias en cuanto a edad, sexo y condición social, laboral etc. de los afectados respecto a los no afectados. Si influye la cantidad de agua bebida

7° Los gastrectomizados, o los que toman alcalinos son mas susceptibles a las infecciones bacterianas hídricas como el cólera. El agua favorece el tránsito por la calle gástrica sin apenas contactar con el jugo gástrico.

8° Los agentes, especialmente los virus determinan más infecciones inaparentes que casos clínicos

9° Las bacterianas y las víricas producen inmunidad absoluta como la hepatitis A o relativa como la tifoidea, de modo que los inmigrantes a zonas endémicas sufren mas la enfermedad que los indígenas.

10° La transmisión de las enfermedades hídricas es en la mayor parte de los casos antropogénica, teniendo por ello un papel importantísimo la conducta humana. Más que un problema médico lo es de educación de las personas y de las autoridades sanitarias y políticas.

Aunque, en general, cualquier bacteria patógena puede llegar al agua y propagarse por este medio, en la práctica esta posibilidad se limita a un corto número de gérmenes que, al eliminarse por las heces u orina de los enfermos o portadores, tienen mayores probabilidades de llegar a las aguas en cantidad suficiente para producir enfermedades que pueden manifestarse en forma epidémica.

TIFOIDEA. La tifoidea, con el cólera, es la enfermedad hídrica por antonomasia. Whipple atribuyó en 1908 al agua el 40 % de los casos de tifoidea y a finales del XIX la mortalidad por tifoidea en las grandes ciudades superaba al 0,5 por 100 pero cada vez hay menos epidemias hídricas de tifoidea debido a la vigilancia de los abastecimientos de modo que prácticamente solo se producen brotes en los pueblos en donde la cloración se efectúa mal. La *S. typhi* pervive en el agua un tiempo variable según el clima, las condiciones del agua especialmente la concurrencia bacteriana y la técnica empleada. En 1847 se atribuyó al agua un brote de tifoidea en la ciudad Suiza de Llauren. En Lausane en 1872 se produjo una importante epidemia hídrica de tifoidea. Desde octubre de 1914 hasta principios de 1915 se produjo otra en Barcelona entonces con 600.000 habitantes que causó 7.507 casos con casi 2,300 defunciones por contaminación de las aguas de Moncada procedentes de galerías filtrantes de los ríos Besós y Ripoll. En Málaga se dio otra epidemia de tifoidea en 1951 por contaminación con aguas residuales y otra en Madrid en 1959 con 1.600 casos. Un portador urinario que trabajaba en el depósito de agua de Croydon ocasionó en 1937, una epidemia con 3.100 casos y 43 defunciones. En las 80 ciudades más populosas de USA la incidencia de tifoidea en 1903 fue de 700 por 10⁵ habitantes En 1910 cuando ya se habían instalado filtros no superaron los 100 y poco después con la cloración bajó a 22 casos en 1920 y en 1935 con la adopción de otras medidas como el control de los portadores la incidencia fue mínima.

En Caluso, cerca de Turín se hospitalizaron en diciembre de 1984 unas 800 personas con fuertes dolores abdominales, vómitos y diarreas por haberse contaminado el pozo que servía a la ciudad por la rotura accidental de una conducción por las obras para instalar una tubería de gas.

GASTROENTERITIS El agua origina anualmente unos 900 millones de casos de gastroenteritis que matan a 3 millones de personas. En 1975 se produjo un brote de gastroenteritis por agua en Sewickley (Pennsilvania) con 5.000 casos. En agosto de 1979 la avería del clorómetro ocasionó en Azpeitia (Guipúzcoa) un brote de gastroenteritis que afectó al menos a 70 escolares..En los primeros días de octubre de 1982 se produjo en Urnieta (Guipúzcoa) una epidemia de gastroenteritis con intensa diarrea, fiebre y vómitos que afectó a unos cincuenta adultos y a seiscientos niños

de los que hubo que hospitalizar a 15 debido a la contaminación del agua de bebida al parecer por algún afectado de Andoain localidad en la que pocos días antes se habían dado dos brotes en los trabajadores que habían comido en los comedores de dos fábricas coincidiendo con una avería en el sistema de cloración por una tromba de agua que cayó el día 5.

A menudo se achaca al agua el origen de toxiinfecciones en las que se ignora el mecanismo de transmisión pero no cabe duda que el agua puede constituir el mecanismo de transmisión de gastroenteritis.

Los agentes causales pueden ser *salmonellas* no *typhi* que ocasionalmente pueden ser vehiculadas por el agua al contaminarse por las excretas de los animales de abasto o por las aves. Aunque en el agua perviven entre varias semanas a tres meses no suelen alcanzar la dosis infectante y por ello el mecanismo habitual es a través de los alimentos en donde se pueden multiplicar. En 1965 en Riverside (California) se infectaron con la *S. typhimurium* 16.000 personas de un total de 133.000 que afectó especialmente a los niños más sensibles porque tienen menor DI. La epidemia nueve días antes debido a un corte de suministro para hacer una nueva conexión y durante 42 horas se estuvo utilizando agua de pozos en los que se aisló el germen. Rose y cols (1966) dedujeron que bastaban unos pocos gérmenes para causar el cuadro. Molinero y cols (1998) estudiaron la gastroenteritis producida por la *Salmonella* ohio que causó un brote en 59 escolares que hicieron un excursión a Villabuena (Alava) pueblo de 363 habitantes siendo la tasa de ataque en los que bebieron agua de la fuente de 67,8%. García Villanova y cols. (1986) analizaron 181 muestras de agua de riego de la vega de Granada encontrando como media en 100 ml Bacterias aerobias $3,1 \times 10^8$, 1×10^7 como NMP de coliformes totales, $5,1 \times 10^6$ NMP de E. Coli, $8,9 \times 10^5$ de estreptococos fecales y $2,7 \times 10^4$ de clostridios encontrando 31 tipos diferentes de *Salmonellas* no *typhi*. La *E. coli* enterotóxica, importante en la patogenia de la diarrea del viajero puede transmitirse por el agua. Palmer y cols en 1983 describieron un brote que persistió ocho semanas, de gastroenteritis por *campilobacter* que afectó a 234 alumnos y a 23 empleados de un internado debido al agua de un depósito en la que se encontró el bacilo) etc. y el *C. jejuni* causó en Vermont una epidemia hídrica que causó, según la CDC, cerca de 3.000 casos de gastroenteritis en 1978. También es posible la transmisión por el agua de la *Yersinia* enterocolitica y de las aeromo-

nas. En las *shigellosis* el contagio se establece fundamentalmente por las manos sucias, mientras que la transmisión por el agua tiene muy poca importancia aunque las shigellas resisten mucho en ese medio (Vincent encontró que la *Sh shigae* persistía 14 días en agua destilada) El propio Shiga observó una epidemia holomiantica en Japón. La transmisión hídrica de las *shigerllosis* es un epifenomeno de la transmisión por contacto directo. En septiembre de 1978 se produjeron 150 casos de disenteria clínica por *Sh. sonnei* en Puentedeume en cuya agua se encontró el germen. La deficiencia de agua potable dificulta la profilaxis, pues es el medio más importante para eliminar el material infeccioso (lavado de manos, utensilios, alejamiento de excretas, etc.)

Las leptospiras se pueden transmitir por el agua. En Veluwe (Holanda) se presentaron tres casos por contaminación a partir de las aguas residuales. La *Lysteria monocytogenes* es una *sapronosis hodroté-lurica*. Ocasionalmente el agua puede transmitir el tétanos. La *P. tularensis* contamina a partir roedores, castores, ratas almizcleras al agua; parece que el germen se puede reproducir en el barro y materia orgánica de las orillas. La *P. Turalensis* ha ocasionado según Jellison y cols (1942, 1950) casos de tularemia en los que bebieron ese agua. Se ha sugerido la transmisión por el agua del *Helicobacter pylori*.

El agua puede contener los resistentes bacilos de Koch a la que llega procedente de los esputos y en algún caso de las heces. Se le encuentra en las aguas residuales, especialmente en las proximidades de hospitales y sanatorios, donde la contaminación puede llegar a ser elevada. Coin y cols. (1964) lo aislaron en el 30 % de muestras de agua residual en las proximidades de sanatorios,. Se han descrito raros casos humanos de tuberculosis causada por el *M. bovis* el cual se ha encontrado en agua estancada contaminada por ganado enfermo. También puede el agua jugar algún papel en la infección por mycobacterias atípicas entre ellas el *B. marinum*. Andreu y cols (1983) encontraron *M. gordonae*, *chelonei*, *scrofulaceum* en aguas residuales que concentran por Millipore y siembran en medio líquido También se ha aislado del agua el *M. kansasii*. Fischeder y cols. (1991) encontraron que el 80 % de 33 muestras de agua procedente de depuradoras y en el 72% de la del grifo tenían entre 10^2 a 10^3 unidades formadoras de colonias por litro. La identificación de las especies por bioquímica y por cromatografía en capa fina demostró que

se trataba de *Myco. fortuitum* en la depuradora y de *M. gordonae*, *chelonae*, *flavescens* y *kansasii* en el agua del grifo. Cuando la concentración es baja no parece que supongan riesgo para la salud; solo tal vez en los trabajadores de depuradoras que manejan cienos.

Las conducciones de agua (y los sistemas de refrigeración) son el hábitat adecuado para el desarrollo y diseminación de la *Legionella pneumophila*. El germen se encuentra en agua de ríos y lagos sin causar brotes Hierro y cols (1985). lo encontraron en aguas de Cantabria en el verano de 1984 a 20-30 cm de profundidad. En el agua resiste entre 3 y 12 meses y a veces mas. Se ha señalado que podrían albergarse en las Naeglerias y reproducirse en ellas. Sin embargo en el agua natural no encuentran las legionellas condiciones adecuadas para reproducirse y por ellos los brotes se asocian a sistemas artificiales de conducción de agua

VIRUS Z. Hay más de 129 tipos de virus entéricos es decir que se multiplican en el tubo digestivo y se eliminan con las heces que contienen por g una 200×10^6 UFP. Entre ellos tenemos a componentes de las familias *Picornaviridae* (Polio I,II III, *Coxsackie* A y B, virus ECHO) *Rheoviridae* (*Rheovirus* I a 3, *Rotavirus* 1 a 3), *Coronaviridae* (Coronavirus), *Calicivirus* y *Astrovirus* humanos y animales, *Parvoviridae* (Parvivurus Agentes Norwalk posibles parvovirus), *Adenoviridae* (Mastadenovirus y los Adenovirus humanos 1 al 35) siendo los mas importantes los agentes de la poliomielitis.y los de las hepatitis A y E. Los enterovirus se eliminan por el tubo digestivo y menos veces por el tracto respiratorio del hombre, desde donde pueden llegar al agua. La cantidad de virus del agua depende de la prevalencia de infectados, del grado de saneamiento ambiental del nivel educativo y socioeconómico de la población, y de las condiciones ambientales (clima, pluviosidad, características del terreno etc.)

Por ello los enterovirus especialmente los virus de la poliomielitis, *Coxsackie* y *Echo* se encuentren constantemente en las aguas residuales Berg (1971) encuentra en USA, durante los meses fríos en aguas superficiales concentraciones por litro de 30 a 100 upf por litro, mientras que contiene 5 a 500×10^5 coliformes y en las utilizadas para bebida una concentración media por litro de 100 ufp. (Berg 1984). Hay que tener en cuenta que las técnicas de detección de virus en el agua son poco sensibles de

modo que la cantidad real de virus del agua es superior a la que se puede demostrar por los métodos actuales. La cantidad varía según la población y la época del año. En Israel, Shuval (1970) encuentra por término medio de 500 a 600 unidades víricas (PFU) por litro de agua, correspondiendo los resultados más elevados a las poblaciones con condiciones económico-sociales deficitarias. Los virus se adhieren mucho a las partículas sólidas del agua soslayando así los efectos del cloro (Stagg y cols 1978) Pueden entrar en el organismo con el agua a través de faringe ; atraviesan sin pérdida el estomago pues resisten el pH ácido y entran en las células intestinales en donde se multiplican habiéndose encontrado por g de heces mas de 10^6 viriones durante muchos días.

Los virus necesitan células vivas para multiplicarse y no se ha encontrado ningún virus humano que lo haga en las células de los organismos acuáticos por lo que el agua es desfavorable para su persistencia aunque pueden persistir lapsos variables según su estructura, y las características de las aguas como temperatura, pH y contaminación bacteriana concomitante. Los virus no son atacados por fagos ni por las *mixobacterias* aunque hay bacterias marinas que los destruyen.

Rao y col. (1984)encontraron estos resultados

| | Tipo de producto | Número | Porcentaje de positivos | ufp por litro |
|-------------|--------------------------------|--------|-------------------------|---------------|
| Enterovirus | Agua | 35 | 14 | 3 a 12 |
| | Sedimento compacto | 35 | 6 | 7 a 10 |
| | Sedimento superficial | 15 | 47 | 39 a 398 |
| | Partículas sólidas suspendidas | 18 | 72 | 4 a 40 |
| Rotavirus | Agua | 31 | 16 | 119 a 1.000 |
| | Sedimento compacto | 6 | 12 | 1.200 |
| | Sedimento superficial | 15 | 40 | 800 a 3.800 |
| | Partículas solidas suspendidas | 18 | 50 | 1800 a 4980 |

Ribas y cols. (1983) estudiaron en 12 muestras del Llobregat la presencia de enterovirus en 1982

| Estación | Concentración media de enterovirus | Desviación típica |
|----------|------------------------------------|-------------------|
|----------|------------------------------------|-------------------|

| | | |
|-----------|----------------------------|------|
| Invierno | 0,9 | 1,8 |
| Primavera | 4,8 | 11,6 |
| Verano | 0,6 (mínimo en julio) | 1,3 |
| Otoño | 11,9 (máximo en noviembre) | 14,6 |

Las diferencias estacionales representan más que la pervivencia de los enterovirus los aportes de los mismos al río. Los enterovirus persisten entre 2 y 168 días en aguas corriente, 2.130 en la del mar (25 a 125 días en el suelo y más de 90 en ostras)

Los virus entéricos son muy susceptibles al calor a la desecación y a los UV pero resisten al éter, al cloroformo, a la bilis, al bajo pH es decir el jugo gástrico. Los virus son más resistentes a la autodepuración natural y a los sistemas artificiales que las bacterias. Por ej. el virus de la hepatitis A resiste el contacto con 23 ppm de cloro durante 30 minutos (Neefe y cols. 1945). En 1947, Neefe y cols. observaron que el virus de la hepatitis A se podía inactivar en el agua por la presencia de 0,4 p.p.m. de cloro libre, a condición de que el agua hubiera sido sometida previamente a métodos de depuración física poco eficaces para eliminar el virus pero si para desembarazar al agua de sedimentos con virus y de materia orgánica que protege a los virus del cloro..

El papel del agua en la transmisión depende de la capacidad infectiva del virus. Katz y Plotkin (1967) demostraron que la dosis mínima infectiva de los enterovirus por vía oral para al hombre se corresponde con la más pequeña cantidad de virus que puede ser detectada por cultivo en las células sensibles

Pese a la gran dilución que sufre el agua residual en su vertido a los ríos, es posible detectar virus más abajo de los puntos de vertido, habiéndose aislado del 38,2 % de muestras del río Illinois (Lamb, 1964), en el 24 % de las del Sena (Coin, 1964), en el 9,1 % de las del Meurthe (Foliguet, 1966), en el 26,2 % de las del Ruhr (Primavesi, 1966), en el 46 % de las del Támesis (Poynter, 1968). Pero además se han aislado virus de lugares muy alejados; Berg en el Missisipi, encontró en un litro entre 60 a 50.000 coliformes mientras que contenía 1 a 19 unidades víricas, sin que hubiera relación entre las concentraciones de los virus y las de las bacterias de modo que había más virus en las aguas que tenían menos gérmenes. En Madrid, Cabo (1970) aísla enterovirus en el río Jarama a 44

kilómetros de la última contaminación importante. Ribas y cols (1983) concentran los enterovirus en un aparato que contiene polvo de vidrio del cual los eluyen después y cuantifican por cultivo en células BGM.. Ya la Reunión de la OMS y de la *American Public Health Association* celebrada en México en 1974 estableció como límite aceptable provisional una unidad infecciosa de viriones por 37,85 l de agua para fines deportivos y menos de una en 378,5 para agua de bebida

La poliomielitis se transmite fundamentalmente por contagio interpersonal pero el agua sigue teniendo una gran importancia. En 1929 Kling, director del Instituto Nacional de Bacteriología de Estocolmo, con sus colaboradores emitieron la teoría de que el agua era el origen de todas las epidemias de poliomielitis, pero no se han podido objetivar muchas epidemias hídricas. Entre ellas tenemos la de Edmonton (Canadá) en 1954 y la de Huskerville (U.S.A.) en 1957. En España se produjo en 1969 un brote en Tarrasa con 19 casos y cuatro defunciones, por la contaminación de una terminal del abastecimiento de aguas, producida por succión de aguas residuales durante un corte en el suministro por avería. Nosotros observamos en 1948 una sucesión de casos clínicos que iban apareciendo secuencialmente en el tiempo y en los pueblos por los que pasa el Segura.

Los ECHO, *Coxsackie*, rotavirus, los agentes tipo Norwalk, Denver, Hawai etc. pueden producir diarreas agudas epidémicas. Knocke (1966) aisló reovirus en el 34 % de 382 muestras de agua probablemente contaminadas por las aguas residuales de mataderos, ya que los animales de abasto se encuentran muchas veces infectados por reovirus. Malherbe (1965) aisló reovirus (además de enterovirus y adenovirus) de las aguas residuales del matadero municipal de Johannesburgo

Las hepatitis A y E se pueden transmitir por el agua.. La epidemia más importante fue por el virus E (largo tiempo tenida como causada por el virus A) en 1955 en Nueva Dehli, donde, a consecuencia de lluvias torrenciales y de las inundaciones subsiguientes, se contaminó el abastecimiento de aguas de la ciudad, A pesar de la cloración del agua, se declararon en un mes 28.745 casos de hepatitis (Chuttani y cols., 1966).

En la provincia de Barcelona se presentaron en 1965 dos brotes de hepatitis en las localidades de Calaf, con más de 100 casos, y Prats del Rey, con 30, producidos por consumo de agua a partir de pozos contaminados. siendo el virus de las hepatitis A y E los que presentan una mayor

capacidad de resistencia frente a los agentes ambientales y desinfectantes, como el cloro.

Las normas EEC (1977) indican que no debe aislarse ningún virus patógeno en 10 litros de agua y algunos exigen que debe aumentarse a 500 y hasta 1000 l. Para la vigilancia de los virus en el agua deben concentrarse los existentes en grandes volúmenes de agua ultrafiltración sobre filtros solubles, por circulación tangencial continua, osmótica o bajo presión, por precipitación de los virus con óxido férrico o con hidróxido aluminico, por adsorción en membranas de celulosa -en gasas cortadas o plegadas de formas diversas sumergidas 24 a 48 horas que luego se exprimen-, de nitrato, de fibra de vidrio-resina epoxi lograda bajando el pH y aumentando la salinidad seguida de elución en un volumen pequeño de líquido subiendo el pH y diluyendo la salinidad; algunos solutos pueden disminuir la adsorción y puede haber interferencias en la elución. La electroforesis forzada permite que los virus se absorban selectivamente sobre membranas de diálisis semipermeables o pasar por membranas de ósmosis. El recuento se hace determinando la última dilución que es positiva, por el número mas probable o por el número de unidades formadoras de placas.

PROTOZOOS

En el agua se encuentran quistes de amebas que pueden infectar al hombre. En 1933 se produjo un brote en Chicago debido a un fallo de las conducciones que causó mas de 1.000 casos con 58 defunciones. Afecta a países templados aunque mucho mas en los tropicales probablemente por la mala higiene mas que por las condiciones climáticas. Chandler en 1955 describió una epidemia en el puerto de Murmansk en la península de Kola mas al N del círculo polar ártico que afectó al 60 % habitantes. Los quistes de amebas resisten mucho al cloro de modo que en las zonas afectadas la depuración física debe hacerse con criterios muy exigentes y utilizar en abastecimientos pequeños desinfectantes químicos como el yodo. Diversas especies de *Naeglerias*, *Hartmanellas* y *Acanthamoeba* de colecciones de agua como embalses, pantanos, aguas residuales etc. piscinas, pues son de vida libre, producen infecciones.

Se han descrito numerosas epidemias hídricas por giardias. En 1954 se produjo una epidemia en Portland que causó 50.000 casos clínicos. Brown estudió una en Colorado en 1968 debida a una conexión entre el alcantarillado y el agua de abastecimiento. Entre 1971 y 1979 se señalaron en USA 31 brotes con más de 17.000 casos clínicos. En Roma en el Estado de Nueva York se produjo en 1974 un brote con 4.800 casos de giardiasis. Craun (1979), Wolfe (1979), Meyer y col. (1980) etc. comunican casos semejantes. La giardia puede proceder de animales y como sus quistes pueden persistir mucho tiempo en el agua, puede ser este un mecanismo importante de diseminación. Hay que recordar que los quistes son muy resistentes al cloro.

Los quistes de toxoplasmas eliminados por las heces de los felinos pueden contaminar el agua y pasar al hombre. La criptosporidiosis es una zoonosis cuya incidencia humana aumenta debido a los cambios tecnológicos en granjas, en la alimentación y en la higiene de los animales y con la estabulación masiva. Se puede transmitir por contagio directo con excretas animales, por alimentos pero también por el agua. La contaminación de origen animal lleva al agua quistes de criptosporidios. Afecta a personas normales pero los inmunodeficientes sufren cuadros más graves y con importantes complicaciones. En febrero de 1989 se produjo un brote de criptosporidiosis de origen hídrico en Oxfordshire-Swindon por agua depurada (Dick 1989). Hayes y cols. (1989) describieron un brote importante por agua depurada por floculación y cloración en Carrllonton (Georgia); aunque solo se halló el parásito en heces de 58 afectados se calcula que hubo unos 13.000 afectados por la encuesta telefónica, de los que 147 debieron ser hospitalizados. El brote se produjo en enero y febrero de 1987 aunque es más frecuente en primavera. D'Antonio y cols. (1985) vieron un brote en Texas por agua que había recibido aguas residuales. Smih y cl. (1988) otro en Scotland por agua que recibió efluentes de agua superficial. Afecta a los que bebieron agua y a todas las edades. La latencia entre la ingesta de agua y la diarrea es de 3 a 7 días.

La Cyclospora es un protozoo parásito. En Nepal es endémico causando diarreas entre mayo y octubre.. El 7 % de los procedentes de ese país tienen cyclospora en sus heces. En junio de 1994 enfermaron con diarrea persistente 12 de 14 soldados ingleses y personal relacionado con

ellos, estacionados en un pequeño destacamento militar en Pokhara (Nepal). Se encontró la ciclospora en las heces del 75 % de los afectados. El agua era mezcla de la del río y del abastecimiento local que se filtraba, aunque no daba garantías de que retuviera las ciclosporas pues el agua seguía conteniendo coccidios que miden 8 a 10 micras. según vieron Rabold y cols. (1994) por filtración en Millipore aunque fue negativa la investigación de coliformes. Se cloró dejando 0,3 a 0,8 ppm de cloro residual. El parásito es muy resistente al cloro

En 1990 se produce un brote de ciclosporas en personal médico de un hospital de Chicago causado por el agua de bebida según el estudio epidemiológico aunque no se encontró el parásito en el agua incriminada (Ortega y cols.1993). También pueden transmitirse por el agua coccidios y balantidios.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) ANDREU U, MARTIN N, GONZALEZ F Y COLS. Gaseta Sanitaria 2, 103, 1983
- (2) ARIZA C, GUEVARA DC, UBEDA JM, CUTILLAS C. Description of four species of the genus *Vannella* isolated from freshwater. *Microbiologia Sem* 5.25, 1989
- (3) APHA (1972): Standard methods for the examinations of dairy products, 13th edition, pp. 88-99. The American Public Health Association, Washington.
- BARNES, E. M. (1956): «Methods for isolation of faecal streptococci (Landcefield group D) from bacon factories», *J. Appl. Bacteriol.* 19, 193-201.
- (4) BARTLEY CH, SLANETZ LW. (1960): «Types of sanitary significance of faecal streptococci isolated from faeces, sewage and water». *Amer. J. Publ. Hlth.* 50, 1545-1552.
- (5) BEJ AK, MAHBUBANI MH, MILLER JL, Y COLS. Muktipler PCR amplification and immobilized capture probes for detection of bacterial pathogens and indicators in water. *Mol Cell Probes.* 4, 353, 1990
- (6) BERG C. *Monographs in virology.* 15, 17, 1984
- (7) BOWEE EC. An emendation of the ameba genus *Flabellula*. *Trans. Am. Micros. soc.* 84, 217, 1965
- (8) BROWN LR. La situación en el Mundo. De. Apóstrofe. 1993
- (9) Cairns, J. Jr., y Pratt, J. R.: *The scientific basis of bioassays, Hydrobiologia,* 188/189, 5, 1989.
- (10) BUCHANAN RE, GIBBONS NE. (ed.) (1974): *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, 8th edition The Williams and Wilkins Company, Baltimore.
- (11) CHANDLER JR AC. *Introduction to Parasitology.* New York 1955
- (12) CHANDLER JR. A biological approach to water quality management *Wat Pollut. Cont* 69, 415, 1970

- (13) COMBARRO MP, LONMGO E, AGRELO D Y COLS. Contaminación bacteriana en pozos de zona rural de Galicia. *Rev San Hig Pub.* 62,1561,1988
- (14) DE MIGUEL I, FERRANDO R, SANTAÁN E, MARTÍN M. AM. Queratitis producida por *Acanthamoeba* en pacientes portadores de lentes de contacto. *Enferm infecc Microbiol Clin.* 17, 445-448,1999
- (15) D'ANTONIO RG, WINN RB, TAYLOR JP Y COLS. A waterborne outbreak of cryptosporidiosis in normal hosts. *Amer Intern Med.* 103,886,1985
- (16) DICK TA. Report of an inquiry into water supplies following an outbreak for cryptosporidiosis during February 1989. *Reading Water Authority.* 1989
- (17) ESPIGARES GARCÍA M., Y PÉREZ LÓPEZ, J. A.: Aspectos sanitarios del estudio de las aguas. Universidad de Granada, Granada, 1985
- (18) FRENCH GE, HILLAG .KUWAIT. A Geomedical Study. Ed Stringer. Berlin 1970
- (19) GARCÍA VILANOVA B, MARISCAL A. CUETO A. Estudio comparativo de diversos indicadores de contaminación biológica en aguas de riego. *Rev San Hig Pub.* Sesenta,,11sesenta y 1,1986
- (20) GERBA CP Y COLS. *Marine pollution bulletin.* 8,179,1977
- (21) GESTAL JJ. Contaminación marina y salud. Libro de Conferencias de la Caixa de Pontevedra. 1995
- (22) GOLDMAN CR, HORNE HJ. *LIMNOLOGY.* DE. Mc Graw-Hill NY. 1983.
- (23) GONZALEZ DEL TAMARGO M, GARCÍA DE JALÓN D, MARTINEZ El caso I. Algunos índices biológicos en ríos españoles. *Técnicas Instrumentales Tratamiento Medio Ambiente.* 1,num 4,1979
- (24) HAYES EB, MATTE TD, OFFEREIN TR Y COLS. Large community outbreak of cryptosporidiosis due to contamination of a filtered public weater supply. *New Eng j. Med.* 320,1372,1989
- (25) JADIN JB. *Acanthamoeba* vectors in pathogen bacteriae. *Acanthamoeba Conference.* Ohio 1978
- (26) JONES DB, VIVESBARA GS, ROBINSON NM. *Acanthamoeba* poliphaga keratitis and *Acanthamoeba* uveitis associated with fatal meningoencephalitis *Trans Ophthalmolog Soc UK.* 95,221-232,1995
- (27) LAEKIN EP, LISTKY W, FULIER JE. (1955b): «Fecal streptococci in frozen foods. III. Effect of freezing storage on *E. coli*, *Str. faecalis* and *Str. liquaefaciens* inoculated into orange concentrate», *Appl. Microbiol.* 3, 104-106.
- (28) LIMA MFF, MAGALHAES MHA, ROCHA RS, ANTUNES CMF. Water contact patterns and socioeconomic variables in the epidemiology of *S. mansoni*, *Bull. OMS.* 65,57,199987
- (29) MALLMANN WL, LISTKY W. (1951): «Survival of selected enteric organisms in various types of soil». *Amer. J. Publ. Hlth.* 41, 38-44.
- (30) MARIÑO FERNÁNDEZ, M. G.: Las aguas costeras. jornadas sobre Evaluaciones de Impacto Ambiental. Granada, 1983.

- (31) MENDOZA, M., Y SEYDEL, J. K.: Application of bacterial growth kinetics to in vitro toxicity assessment of substituted phenols and anilines. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 19, 228, 1990.
- (32) MONZÓN C, GONZALEZ LAMA Z LOPEZ ORGE RH Salmonella en aguas residuales. *Rev Esp Microbiol Clin.* 1,299,1986
- (33) MORENO B, ESCACHO ME. Índices de contaminación de origen fecal en mejillones de la ría de Arosa. *Rev san Hig Pub.* 51,1129,1977
- (34) MOSSEL DA, INGRAM M. (1955): «The physiology of the microbial spoilage of foods». *J. Appl. Bacteriol.* 18, 233-268.
- (35) MUNDT JO. (1961): «Occurrence of enterococci in bud, blossom, and soil studies». *Appl. Microbiol.* 9, 541-544.
- (36) MUNDT JO, JOHNSON AH, KATCHIKIAN R. (1958): «Incidence and nature of enterococci on plant materials». *Food Res.* 23, 186-193.
- (37) MUNDT JO, JOHNSON AH. (1959): «Physiological properties of group D streptococci isolated from plants». *Food Res.* 24, 218-223.
- (38) NIVEN CF. (1963): «Microbial indexes of food quality: fecal streptococci», en *Microbial Quality of Foods*, L. W. Slanetz, et al., Editors, Academic Press, Nueva York, pp. 119-131.
- (39) ORLA S. (1919): *The lactic acid bacteria*, A. F. Host and Son, Copenhagen, Dinamarca.
- (40) OSTROLENK M, HUNTER AC. (1946): «The distribution of enteric streptococci». *J. Bacteriol.* 51, 735-741.
- (41) ORTEGA YR, STERLING CR, GILMAN RH. Y COLS. Cyclospora species ; a new protozoan pathogen of human. *New Eng J Med.* 228,1308,1993
- (42) OSTROLENK M, KRMAER N, CLEVERDON RC. (1947): «Comparative studies of enterococci and E. coli as indices of pollution». *J. Bacteriol.* 53, 197-203.
- (43) PACKER RA. (1943): «The use of sodium azide (NaN₃) and crystal violet in a selective medium for streptococci on Erysipelothrix rhusiopathiae». *J. Bacteriol.* 46, 343-349.
- (44) RABOLD JG, HOGE CW, SHLIM DR, Y COLS. Cyclospora outbreak associated with chlorated drinking water. *Lancet* 344,1360,1994
- (45) RAO VC, MEINICK JL *Applied and Environ Microb.* 48,404,1984
- (46) SAIKI RK, SCHAT F, FALOONA KB. Y COLS. Enzymatic amplification of beta-globin genomic sequences and restriction site analyses for diagnosis of sickle cell anemia. *Science* 230, 1350,1985
- (47) SABBAJ J, SUTTER VL, FINEGOLD SM. (1971): «Comparaison of selective media for isolation of presumptive group D streptococci from human feces». *Appl. Microbiol.* 22 (6), 1008-1011.
- (48) SCHRAPER HA. *The trace elements and man*. De. Old Greenwich. 1975
- (49) SHERMAN JM. (1937): *The streptococci*. *Bact. Revs.* 1, 3-97.
- (50) SHERMAN JM, (1938): «The enterococci and related streptococci». *J. Bacteriol.* 35, 81-93.

- (51) SHIRAI HM, NISHIBUCHI T, RAMAMURTHY SK Y COLS. Polymerase chain reaction for detection of the cholera enterotoxin operon of *Vibrio cholerae*. *J Clin Microbiol.* 19, 1517,1991
- (52) SMITH EM Y COLS. *Applied and environ Microbiol.* 48,404,1978
- (53) SMITH HV, GIRDWOOD RWA, PATERSON W Y COLS. Waterborne outbreak of cryptosporidiosis. *Lancet* 2,1484,1988
- (54) STAGG CH Y COLS. *Progress in water technology.* 10,381,1978
- (55) STOKER, H. S., Y SEAGER, S. L.: Química ambiental: contaminación del aire y del agua. Blume, Barcelona, 1981.
- (56) THATCHER FJ, CLARK, DS. (ed.) (1973): Análisis microbiológico de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza.
- (57) TORANZOS GA, ALVAREZ AJ. Solid-phase polymerase chain reaction. *Canad J Microb.* 38,365,1992
- (58) VOUK VB, Parizek J. Acción favorable de los oligoelementos del agua sobre la salud. *Cronica OMS* 32,414,1978
- (59) WOODIWISS FS. The biological system of stream classification used by the Trent River Board. *Chem and Ind.* 11,443,1964
- (60) ZOETMAN B. C.J., Y BRINKMANN F. J. J., Human intake of minerals from drinking water in the European Communities, En : Hardness of drinking water and public health, Proceedings of a Colloquium, Commission Eur. Communities, Luxemburgo, 1975, págs. 173-202.

Plan de Saneamiento y depuración de aguas residuales de la Comunidad de Madrid

IGNACIO LÓPEZ-GALIACHO PERONA
Director General de Calidad Ambiental

1.- EL RECURSO AGUA EN LA COMUNIDAD DE MADRID

El agua es en la Comunidad de Madrid un recurso crítico, pues no es fácil abastecer en cantidad y calidad adecuadas un territorio que, con menos de 8.000 km² concentra una población de cinco millones de habitantes, la plataforma de servicios terciarios más importante y desarrollada de España y la segunda zona metropolitana más industrializada del país. Tampoco es fácil proteger los ríos y su entorno del impacto producido por el vertido de esas aguas, una vez usadas.

La estructura de demanda de agua es radicalmente distinta a la media nacional. Así, mientras en Madrid el consumo urbano e industrial representa el 67% del consumo total y la agricultura sólo consume un 33%, a nivel nacional estos consumos representan respectivamente el 19% y el 81% del total.

Las aguas superficiales de la Comunidad drenan en su mayor parte por los afluentes y subafluentes del río Tajo, en dirección Norte-Sur. El río principal es, pues, el Tajo que bordea por el Sur el territorio y recibe a todos los demás ríos de la provincia que conforman una malla drenante en forma de “espina de pez”.

Los caudales naturales de todos estos ríos, así como la calidad de sus aguas quedan modificados por la singularidad de la demana. Así en el sistema hídrico de Madrid pueden distinguirse cinco zonas (Gráfico 1), clasificadas según el uso del medio hidrológico, homogéneas y claramente delimitadas:

1.- Una **Zona productora** de agua limpia, que ocupa el Norte y Noreste de la Comunidad, constituida por las cabeceras de los afluentes y subafluentes del río Tajo, en donde se capta y almacena el agua.

2.- Una **Zona de cursos medios** cuyos caudales circulantes son muy reducidos por ser captados aguas arriba y con un poder de autodepuración mínimo.

3.- Una **zona consumidora**, formada por la capital y los municipios del Área Metropolitana, donde se utiliza masivamente el recurso y se devuelve al sistema deteriorado.

4.- Una **zona receptora**, situada aguas abajo del foco consumidor, que sufre los vertidos de aguas residuales. Las posibilidades recreativas y de uso de las riberas quedan drásticamente reducidas.

5.- Una **zona de reserva** de agua, constituida por la cuenca del Alberche, que puede ser utilizada por el Área Metropolitana mediante un costoso bombeo entre cuencas, cuando los embalses de la franja productora bajan de nivel.

Quedan, pues, modificados los caudales naturales de todos los ríos de la Comunidad. El río Manzanares, como caso más significativo de esta distorsión, tiene un caudal aguas abajo del Embalse del Pardo de 0,5 m³/seg., pero nada más atravesar la capital recibe 16 m³/seg del caudal casi constante procedente de los vertidos de más de 3 millones de habitantes. Esto puede considerarse como un verdadero trasvase de las cuencas altas de los ríos Lozoya, Jarama, Guadalix y Guadarrama al cauce bajo del Manzanares.

2.- LA EXPERIENCIA DE LA COMUNIDAD DE MADRID

Al crearse la Comunidad Autónoma de Madrid en 1983, solamente uno de sus 179 municipios había abordado seriamente la depuración de sus aguas residuales. En efecto, el Ayuntamiento de la villa de Madrid había puesto en marcha a finales de la década de los 70 su "Plan de Saneamiento Integral de Madrid" (PSIM), conformando un sistema de siete grandes Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDARs) que en 1984 conseguían tratar la práctica totalidad de los vertidos generados por sus tres millones de habitantes.

El resto de las instalaciones de depuración construidas hasta esas fechas, eran pequeñas depuradoras correspondientes a urbanizaciones, pequeños municipios y algunas industrias. Pero la escasa adecuación

de los diseños a las necesidades y, sobre todo, la mínima atención a la explotación y mantenimiento de las plantas, dio como resultado la obsolescencia, el abandono o el mal funcionamiento de la mayoría de dichas depuradoras.

En 1984 la calidad de las aguas de los ríos y embalses de la Comunidad de Madrid no alcanzaba, así, los niveles mínimos aceptables: los embalses de la zona productora se caracterizaban por su eutrofia (Pedrezuela, Valmayor y Las Nieves), o su mesotrofia creciente (Pinilla, Puentes Viejas, Santillana...); en la zona de cursos medios los escasos caudales de estiaje no permitían la autodepuración de los vertidos; finalmente los cursos de las zonas consumidora y receptora presentaban unas pésimas condiciones, en especial los ríos Guadarrama, Jarama y Henares.

Con este panorama, la Comunidad de Madrid se planteó la necesidad de una gestión integral del agua en su ámbito territorial, que uniera los conceptos de cantidad y calidad, con el fin de conseguir no sólo un abastecimiento eficaz a todos los madrileños sino también un saneamiento que minimizase el impacto medioambiental sobre los ríos y embalses. Así, en diciembre de 1984 fue aprobada la Ley 17/1984 reguladora del abastecimiento y saneamiento de agua en la Comunidad de Madrid, que establece los tres pilares básicos para la gestión del agua.

- 1º) Declara de "*interés de la Comunidad*" los servicios de aducción (abastecimiento en alta) y de depuración, mientras potencia el interés municipal de los servicios de distribución y alcantarillado.
- 2º) Encarga la explotación de todas las infraestructuras hidráulicas de la Comunidad, existentes y futuras, a la empresa pública Canal de Isabel II, que contaba ya con más de un siglo de experiencia en abastecimiento de agua a los madrileños.
- 3º) Regula la tarifa del agua, que debe ser única, incluyendo todos los servicios; igual, de forma que el mismo servicio debe costar igual a todos los usuarios; progresiva, penalizando el despilfarro, y suficiente, con el fin de garantizar un buen servicio.

Con esta cobertura legal, la Comunidad elaboró el Plan Integral del Agua en Madrid (PIAM), aprobado en 1985, con el fin de ordenar y jerarquizar las medidas legislativas, reglamentarias y de gestión, así como las inversiones necesarias en el medio hidráulico en base a los siguientes principios:

- La unidad del ciclo hidrológico
- La interdependencia de los conceptos de cantidad y calidad del agua
- La consideración del agua como bien de dominio público.
- La solidaridad entre los pueblos y regiones para la administración del agua, dada su desigual distribución en el espacio y en el tiempo.
- La necesidad de considerar el proceso de Ordenación Territorial en la definición de planes y programas.

El PIAM se fijó como objetivos la mejora del bienestar colectivo, la contribución al desarrollo regional y la mejora de la calidad ambiental. Para ello estructuró sus previsiones en cinco programas de actuación:

- Coordinación, legislación y gestión.
- Mejora de abastecimientos
- Infraestructura hidráulica municipal
- Depuración de aguas residuales y
- Recuperación de márgenes.

La mayor dotación de recursos económicos (12.200 millones de pesetas) correspondió al Programa de Depuración, acelerando las inversiones en los primeros años del Plan.

La elección del tipo de tecnología de las EDARs se acomodó a la diversa problemática existente:

- En la zona productora del Norte y Noroeste, donde las aguas residuales alcanzan los embalses de abastecimiento y donde se ubica una parte significativa de la población estacional, el diseño de las plantas constaba de un tratamiento físico-químico previo a tratamientos biológicos capaces de reducir nitrógeno. Con ello se eliminan los nutrientes causantes de la eutrofización de los embalses, y se pueden tratar correctamente las fuertes fluctuaciones estacionales de carga orgánica.
- En la zona consumidora, con vertidos de fuerte componente industrial, se diseñaron también procesos físico-químicos previos al tratamiento biológico, para poder actuar sobre los metales pesados y otros componentes tóxi-

cos inhibidores de los procesos de síntesis y descomposición biológica.

- En el resto de las zonas, con municipios pequeños o medianos, se eligieron tratamientos blandos o tratamientos de bajo consumo energético como filtros verdes, lechos de turba, lechos bacterianos y biodiscos.
- Se contempló en todos los casos la posibilidad de unir mediante emisarios e interceptores los vertidos de varios núcleos en una solo EDAR con el fin de aprovechar la economía de escala y garantizar una gestión técnica y económicamente eficaz.
- Finalmente, los emisarios se dimensionaron para una dilución 5:1 (cinco veces el caudal medio de aguas negras), con el fin de limitar la contaminación producida por el desbordamiento de las aguas de tormenta.

Con estos criterios se construyeron en los primeros diez años el sistema integral de saneamiento de la Comunidad de Madrid, que, a diciembre de 1994, se componía de más de 500 km de emisarios y 59 nuevas EDARs, a las que hay que sumar las 7 EDARs del sistema PSIM del Ayuntamiento de Madrid (Gráfico 2) dando servicio a un total de 86 municipios, y una capacidad de 7.459.000 habitantes equivalentes.

La inversión realizada figura desglosada por años en el Gráfico 3, ascendiendo en el período 1985-1994, a 28.760 millones de pesetas financiados con cargo a los presupuestos anuales de la Comunidad de Madrid.

Este conjunto de infraestructuras de saneamiento y depuración permitió reducir drásticamente la contaminación vertida a los ríos y embalses madrileños, tratando en 1994 alrededor de 700 Hm³ de aguas residuales con una reducción media ponderada del 90% de la DBO₅ (demanda bioquímica de oxígeno), del 91% de los sólidos en suspensión (SS) y del 86% de la DQO (demanda química de oxígeno).

3.- EL PLAN DE SANEAMIENTO Y DEPURACIÓN DE LA COMUNIDAD DE MADRID (1995-2005)

A pesar del gran esfuerzo inversor realizado y el alto grado de cobertura del servicio de depuración alcanzado, con más de un 95% de la población censada conectada a los sistemas de saneamiento y depuración, acontecimientos como los periodos de sequía que periódicamente sufrimos, la aparición de normativa europea (Directiva 91/271), el proceso de elaboración del Plan Hidrológico Nacional y del Plan Hidrológico del Tajo, así como la necesidad cada vez más acuciante de reutilizar tanto las aguas depuradas como los fangos generados, aconsejaron la elaboración de un nuevo Plan para ordenar y definir las actuaciones a llevar a cabo en el periodo 1995-2005, manteniendo los principios inspiradores del PIAM e incrementando el enfoque medioambiental y de reutilización de recursos.

La promulgación en 1991 de la Directiva de la Unión Europea sobre tratamiento de aguas residuales urbanas exige la implantación de nuevos sistemas de saneamiento y depuración y la adaptación de los existentes en los 15 Estados miembros, con unas disposiciones muy estrictas en cuanto a los plazos y límites de emisión. Y aunque la responsabilidad formal del cumplimiento de los requisitos de esta Directiva es de los Gobiernos centrales, en España, el diseño, construcción y explotación de las infraestructuras sanitarias es abordado por los municipios y las Comunidades Autónomas en uso de sus respectivas competencias.

Para atender las obligaciones que se derivan de la Directiva sobre tratamiento de aguas residuales urbanas y del Plan Hidrológico del Tajo, la Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Regional está desarrollando el Plan de Saneamiento y Depuración, que tiene un periodo de vigencia de 11 años, desde 1995 al año 2005.

Este Plan, el PSD, dentro de una política general de protección de las aguas, tiene dos objetivos fundamentales:

- El Primero de ellos garantiza la adecuada depuración de todas las aguas residuales generadas en la Comunidad de Madrid, de acuerdo con los criterios de la Directiva, que lo expresa mediante el concepto de HABITANTES EQUIVALENTE (1h.e. = 60 g DBO₅/día). Así, aunque el porcentaje de población censada co-

nectada a sistemas de saneamiento y depuración es, como ya se ha comentado, superior al 95%, al hablar de cargas contaminantes, frente a un total de 12.250.684 habitantes equivalentes son debidamente tratados 10.225.814 h.e., lo que supone aproximadamente el 85% del total.

- El otro gran objetivo es asegurar que en las zonas sensibles de la Comunidad de Madrid, declaradas a los efectos de la Directiva de aguas residuales, y que abarcan las zonas de captación de agua en el Norte y Oeste de nuestra región, se alcanzan objetivos de protección ambiental más estrictos, limitando los aportes de nutrientes a las aguas.

Para conseguir estos objetivos ambientales, el PSD se estructura en cuatro programas:

- Programa 1: EMISARIOS Y DEPURADORAS
- Programa 2: SANEAMIENTO MUNICIPAL
- Programa 3: REUTILIZACIÓN DE AGUAS DEPURADAS
- Programa 4: DISPOSICIÓN Y REUTILIZACIÓN DE FANGOS DE DEPURACIÓN

El primer programa EMISARIOS Y DEPURADORAS incluye el grueso de las actuaciones del Plan, tanto en número como en inversión necesaria, ordenadas en los siguientes subprogramas:

- **Nuevas estaciones depuradoras** para la totalidad de los núcleos urbanos que carezcan de ellas. Dentro del segmento de aglomeraciones urbanas de más de 15.000 habitantes equivalentes pueden destacarse por su importancia las de Boadilla II, Villaviciosa de Odón, Majadahonda, Torrejón, San Sebastián de los Reyes (arroyo Quiñónez), Torrelodones-Galapagar y EDAR conjunta del arroyo Guatén. Las actuaciones ya en realización superan los 3.000 millones de pesetas, coste que ha sido financiado en un 80% por los Fondos de Cohesión.

Una actuación destacable por su importancia es el Saneamiento del Arroyo Culebro, que discurre por los municipios del Sur del Área Metropolitana. Esta actuación supone la construcción de 2 depuradoras, Cuenca Media y

Cuenta Baja, y un amplio sistema de colectores y emisarios que presta servicio a las urbanizaciones de la zona, con una capacidad de tratamiento de dos millones de habitantes equivalentes.

Las obras se están ejecutando en dos fases. La primera de ellas, ya en ejecución, tiene un coste de 7.000 millones de pesetas.. La segunda fase, que se iniciará este año 1999, tendrá un coste aproximado de 12.000 millones de pesetas.

El coste de esta actuación es financiado por el Ministerio de Medio Ambiente y la Comunidad de Madrid.

- **Ampliaciones de estaciones depuradoras.** En función del grado de saturación actual de las depuradoras existentes y de las previsiones de desarrollo urbanístico de los núcleos urbanos se han acometido las obras de ampliación y/o mejora de las depuradoras ya existentes. Como actuaciones más destacadas podemos citar la ampliación de la EDAR de Arroyo del Soto en Móstoles, que ha supuesto una inversión de más de 1.100 millones de pesetas y las de los Escoriales, el Plantío, Navalcarnero, Algete, Casaque-mada, Alcalá Industrial, Aranjuez y La Poveda.

El importe de las actuaciones ya realizadas o en marcha desde 1996 hasta hoy es de unos 4.000 millones de pesetas.

- Otra línea de actuación es la **dotación de tratamientos de eliminación de nutrientes**, complementando y mejorando los existentes en 14 depuradoras ubicadas en “zonas sensibles”, que se ha iniciado en la depuradora de Bustraviejo para continuar a lo largo de 1999 con actuaciones en otras cinco depuradoras de la zona.
- **Emisarios.** En concordancia con las actuaciones en depuradoras, se han programado todos los nuevos emisarios y colectores interceptores de las aguas residuales a tratar hasta las instalaciones correspondientes. Las actuaciones ejecutadas o en marcha han supuesto una inversión de más

de 3.500 millones de pesetas, habiéndose ya redactado desde 1995 hasta hoy 41 proyectos de emisarios.

- Otro aspecto al que la Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Regional presta gran atención es a la **garantía de la calidad del servicios de depuración**, para lo que están dotando a las depuradoras de dobles líneas de alimentación eléctrica, interconexión hidráulica de plantas, dotación de capacidad de reserva de tratamientos por sistemas, balsas de tormenta, etc. Todo ello con el fin de reducir el número de fallos en la explotación de las depuradoras por debajo de los límites admitidos por la Directiva Europea.

El Gráfico 4 recoge la situación actual de las EDAR en la Comunidad de Madrid.

El segundo programa del PSD es el programa de **Saneamiento Municipal** que tiene como objeto la renovación, mejora y ampliación de los alcantarillados urbanos. Sin embargo, dado que la competencia en materia de saneamiento es municipal, la programación y construcción de estas infraestructuras es abordada por los respectivos Ayuntamientos, con la ayuda técnica y financiera de la Comunidad de Madrid, a través del Patronato Madrileño de Áreas de Montaña (PAMAM) en los municipios de la Sierra Norte y de la Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Regional en el resto de municipios.

Con este fin, la Consejería y los distintos Ayuntamientos están acometiendo inversiones en Redes Urbanas de abastecimiento y saneamiento de aguas” dentro del plan PRISMA, incorporando así los objetivos del Plan de Saneamiento y Depuración y en particular el cumplimiento de los requisitos exigidos para los sistemas colectores por la Directiva 91/271/CEE.

Asimismo la Comunidad de Madrid ha extendido, a todos los municipios la regulación de los vertidos líquidos industriales a los alcantarillados municipales, mediante la aprobación de la **Ley 10/1993 sobre vertidos líquidos industriales al Sistema Integral de Saneamiento** y sus Decretos de desarrollo. Con esta legislación se completa el proceso de ordenación y control de los vertidos líquidos industriales, estableciendo la prohibición de vertido de determinados productos y compuestos (mezclas

explosivas, colotantes, sustancias corrosivas, residuos peligrosos, etc.) y limitando el vertido de otras sustancias contaminantes. Con estas medidas se protegen las instalaciones de saneamiento, mejorando la explotación y conservación de las depuradoras existentes y, con ello, los recursos hidráulicos y el medio ambiente.

El programa de **reutilización de aguas depuradas** prevé una serie de actuaciones, algunas de ellas a corto plazo, con el fin de hacer realidad la reutilización de aguas tratadas en las EDARs para usos compatibles con la salubridad pública como el riesgo agrícola, de zonas verdes y campos de golf, la refrigeración y otros usos industriales, el mantenimiento de caudales ecológicos, etc. En el PSD están previstas instalaciones para la reutilización de las aguas depuradas en las EDAR de Fuenlabrada-Culebro, El Plantío, Arroyo de la Vega (Alcobendas), Casaquemada, Cuenca media del Guadarrama, Boadilla del Monte, Pozuelo-Húmera, etc. El Plan de Saneamiento Integral de Madrid establece una inversión de tres mil millones de pesetas para regar 21 parques con aguas procedentes de la EDAR de la China.

Finalmente, el PSD incluye un programa de **disposición y reutilización de fangos de depuración** para dar solución a los lodos que resultan del proceso de depuración de las aguas. En estos momentos se prevé la construcción de 2 plantas de secado térmico de fangos, para la obtención de fertilizantes agrícolas, y una planta de compostaje. Con estas actuaciones se da a los fangos el destino más apropiado para este tipo de residuos cuya utilización en la agricultura en nuestra región se regula por un Decreto del año 1998. Un aspecto importante a destacar es que en ningún caso se van a construir vertederos para los fangos de depuración. También es importante destacar que parte de los fangos generados se van a tratar conjuntamente con la materia orgánica de la basura en las plantas de biometanización de residuos urbanos, ya que esta mezcla favorece los procesos de metanización de la materia orgánica y la producción de biogás para su aprovechamiento energético.

Las inversiones necesarias para el conjunto de todas estas actuaciones definidas en el Plan de Saneamiento y Depuración ascienden a 132.970 millones de pesetas desglosados por años y programas en la Tabla 1.

El programa que precisa una mayor inversión es, como ya se ha comentado, el de **Emisarios y depuradoras**, con una inversión de 100.010 millones, lo que supone un 75% del total, la inversión en **Saneamiento municipal** es de 25.551 millones (19%) y para reutilización de recursos, agua depurada y fangos, se destinan 6.609 millones (6%).

Estas inversiones permitirán alcanzar en el año 2005 los requerimientos establecidos en la Directiva de aguas residuales urbanas.

4.- FINANCIACIÓN DEL PLAN

Los elevados costes de inversión que implica la puesta en marcha de las actuaciones propuestas en el Plan de Saneamiento y Depuración, hace necesaria la participación financiera de la **Administración Central**. Así, en el Plan Nacional de Depuración, aprobado en 1995, se establece la ayuda estatal en un 25% de las necesidades de inversión de cada autonomía. En el caso de la Comunidad de Madrid, esta aportación se concreta en 27.003 millones, procedentes de los fondos de Cohesión europeos y de los Presupuestos Generales del Estado. Dicha aportación se regula mediante la firma de un Convenio de Cooperación entre ambas administraciones, habiéndose desarrollado en un 80%, quedando pendiente de concretar la cifra de 4.000 millones de pesetas.

Las actuaciones más relevantes que se han realizado en el marco de este convenio ha sido el Saneamiento y Depuración del Arroyo Culebro, con un coste total de unos 19.000 millones de pesetas. En otras actuaciones se han invertido otros 4.500 millones de pesetas, financiados en el 80% por fondos de cohesión.

El grueso de los recursos necesarios (gráfico 5) serán, sin embargo, aportados por la **Comunidad de Madrid** (Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Regional y Canal de Isabel II), para el programa de emisarios y depuradoras, y por los **Ayuntamientos** para los colectores municipales, con el auxilio también de la Comunidad a través del Programa PRISMA y el Patronato de Áreas de Montaña.

Finalmente, la reutilización de recursos y las ampliaciones de EDARs para los nuevos desarrollos urbanísticos, serán financiados en parte por vías extrapresupuestarias a través de acuerdos en la Comunidad

de Madrid con **otros agentes inversores públicos y privados** (Los Ayuntamientos y los promotores de los nuevos desarrollos urbanísticos).

5.- SITUACIÓN ACTUAL

Después de 3 años de aplicación de Plan de Saneamiento y Depuración de la Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Regional ha iniciado los trabajos para su revisión.

Esta revisión es necesaria a la luz de tres factores fundamentales.

- La aprobación del Plan Hidrológico del Tajo, que establece los objetivos de calidad de las aguas y obliga a modificar algunas actuaciones del PSD para lograr esos objetivos.
- La aparición de nuevas necesidades en materia de saneamiento y depuración, consecuencia de los fuertes desarrollos urbanísticos que se han producido en algunas zonas de nuestra región.
- La necesidad de acomodar el ritmo inversor previsto en el año 95, que ha sufrido un desfase que aconseja redefinir los horizontes inversores de los próximos años.

Los objetivos generales de la Actualización y Revisión del PSD son tres:

- El conocimiento del grado de ejecución, a la fecha, del PSD.
- El diagnóstico de la calidad de las aguas superficiales de la Comunidad de Madrid.
- Y la actualización del PSD

Para toda revisión, actualización o, incluso, modificación de una planificación, es obligado conocer en primer lugar lo que de ella ha pasado a realización. Será necesario saber a continuación el nivel de cumplimiento de lo realizado respecto a lo planificado y deducir si el objetivo que se pretendía ha sido satisfecho, técnica, social y económicamente.

El primer objetivo enunciado comprenderá necesariamente qué ha sido ejecutado, cómo ha dado solución, parcial o totalmente, al problema que lo motivaba y en último término qué inversión ha exigido, citando la financiación de la misma.

Conocido el grado de ejecución del PSD estrictamente y de forma simple, si no se tuvieran en cuenta otras circunstancias, se podría plantear

una revisión que recogiera sencillamente las actuaciones pendientes de llevar a la práctica.

Sin embargo, la revisión y actualización que ahora se pretende, seguirá una filosofía más amplia que, partiendo necesariamente del objetivo de grado de ejecución del PSD, contemplará el conocimiento de calidad de las aguas superficiales, que es precisamente el segundo objetivo a alcanzar.

Lograr este segundo objetivo permitirá conocer la calidad de las aguas en el momento presente y su evolución en el tiempo, pudiendo comprobar la respuesta habida de las actuaciones ya operativas. Este segundo objetivo deberá incluir un diagnóstico que será base para acometer la actualización final del PSD.

La herramienta para el cumplimiento del conocimiento de la calidad de las aguas, además de la información facilitada por los organismos relacionados con el agua y de los estudios realizados por la propia Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Regional, consistirá en una campaña de muestreo definida por una tipología específica, sobre una red de puntos representativa y la correspondiente analítica de diferentes parámetros que permitan evaluar la calidad del agua. Estas determinaciones se complementarán con el uso de modelos matemáticos que permitirán la determinación del estado del agua de la red fluvial de nuestra región.

El tercero, último y fundamental objetivo, se beneficiará del éxito de los dos anteriores y definirá la actualización propiamente dicha del PSD.

Además, de la selección, presupuesto y programa de actuaciones, comprenderá necesariamente un Programa de Seguimiento del PSD actualizado que incorporará, como elemento nuevo e indispensable, un modelo de simulación que facilite la respuesta y conocimiento de la calidad de las aguas circulantes frente a situaciones modificativas, modelo que se aplicará ya en la propia realización del Presente Estudio.

Se pretende en definitiva actualizar y revisar el Plan de Saneamiento y Depuración (1995-2005) manteniendo el mismo período de vigencia pero incorporando datos, conocimientos y normativa procedentes de distintas fuentes que permitirán fijar metas más adecuadas a la realidad presente y con criterios ajustados a las nuevas normativas.

Por tanto, no se pretende, ni ha de ser, un nuevo Plan de Saneamiento y Depuración; sino que dentro de su causalidad y fines, se revise el punto de partida y se redefine, es decir, se actualicen las actuaciones generadas, infraestructuras, estudios, seguimiento y normativa que ayude a su desarrollo. Todas estas actuaciones, ya en marcha, deberán completarse antes del final de este año.

Otra línea de actuación de la Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Regional en materia de saneamiento y depuración es la aplicación en su integridad de la Ley 10/1993, de Vertidos Líquidos Industriales al Sistema Integral de Saneamiento. El cumplimiento estricto de esta Ley redundará:

En una mejora de los rendimientos de las depuradoras, al disminuir los aportes de elementos como los metales pesados y otros productos químicos que interfieren en los procesos de depuración.

- Una reducción de los metales pesados en los lodos de depuración, lo que reducirá el volumen de lodos que no pueden utilizarse en agricultura.
- Una mejora de la calidad del agua vertida desde las depuradoras a los cauces públicos, que se traducirá en una mejora del medio ambiente y de salud pública.

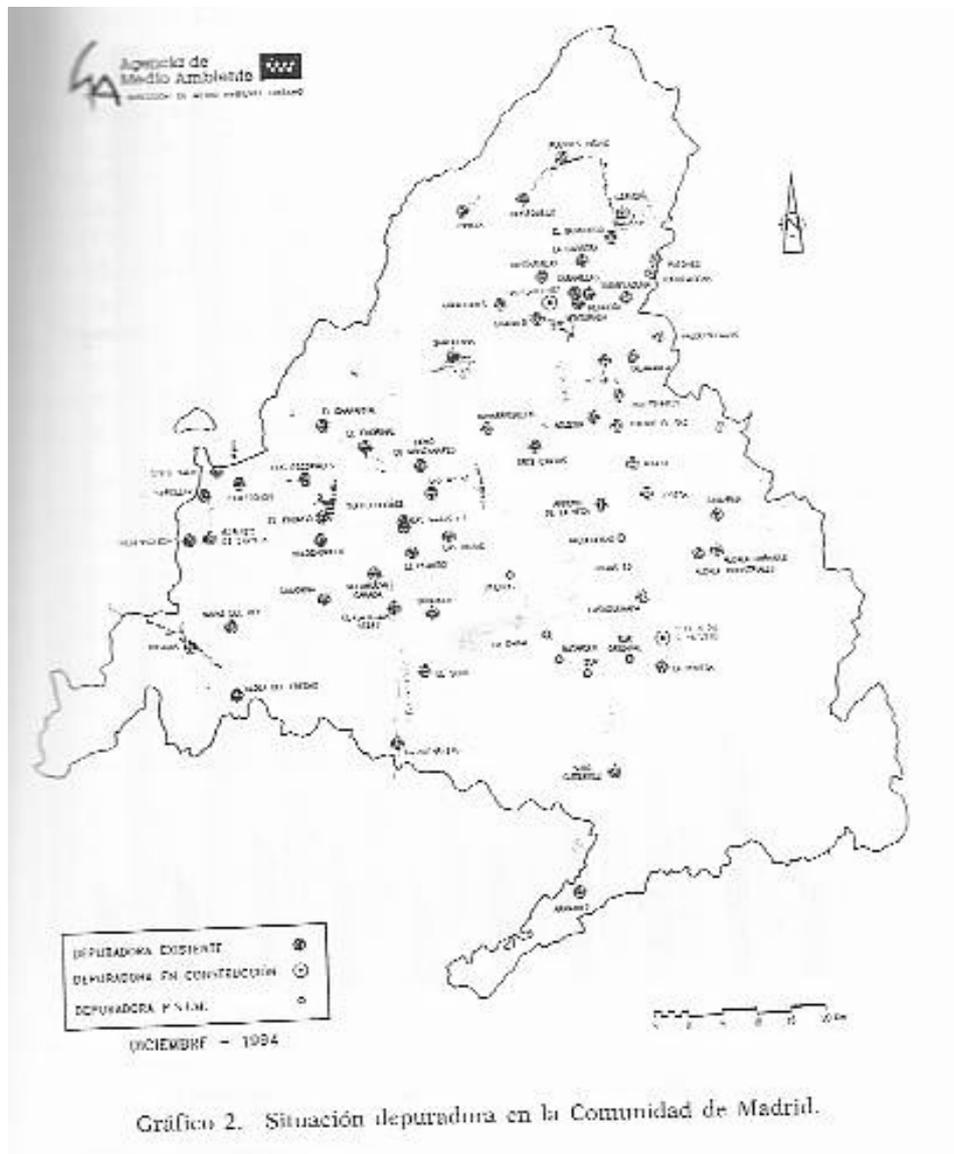
Para conseguir estos objetivos, la Dirección General de Calidad Ambiental va a reforzar de forma importante las unidades administrativas relacionadas con la gestión de las aguas.

6.- CONCLUSIÓN

El plan de Saneamiento y Depuración de la Comunidad de Madrid, es el instrumento fundamental de la política de calidad del agua, dando respuesta a la necesidad de compatibilizar el desarrollo económico con la calidad ambiental del medio urbano y con la preservación del medio natural (desarrollo sostenible) y su objetivo es el de evitar la contaminación del agua, garantizando una adecuada calidad de los ríos y embalses de la Comunidad de Madrid y facilitando la reutilización del agua depurada y el ahorro de este recurso natural, tan valioso como escaso.



Gráfico 1. Zonificación del sistema hidrico de la Comunidad de Madrid, según usos de agua.



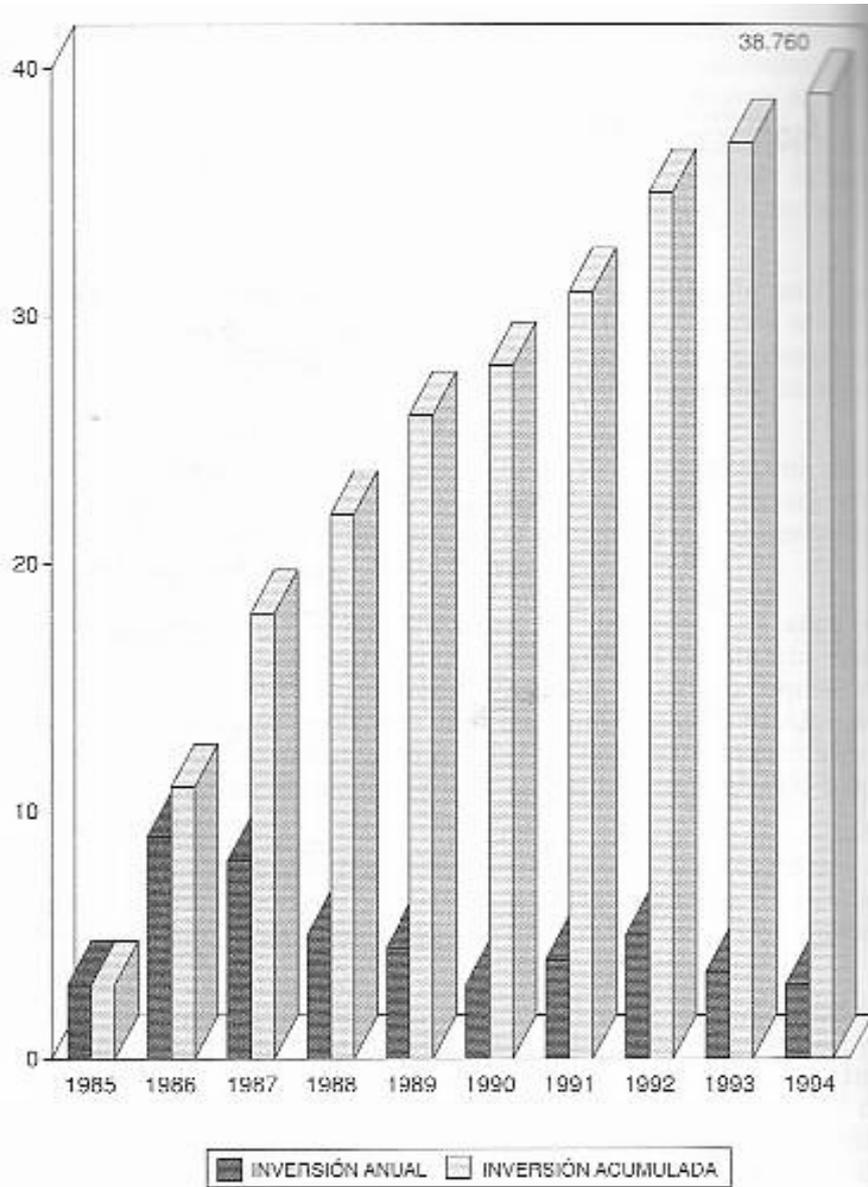
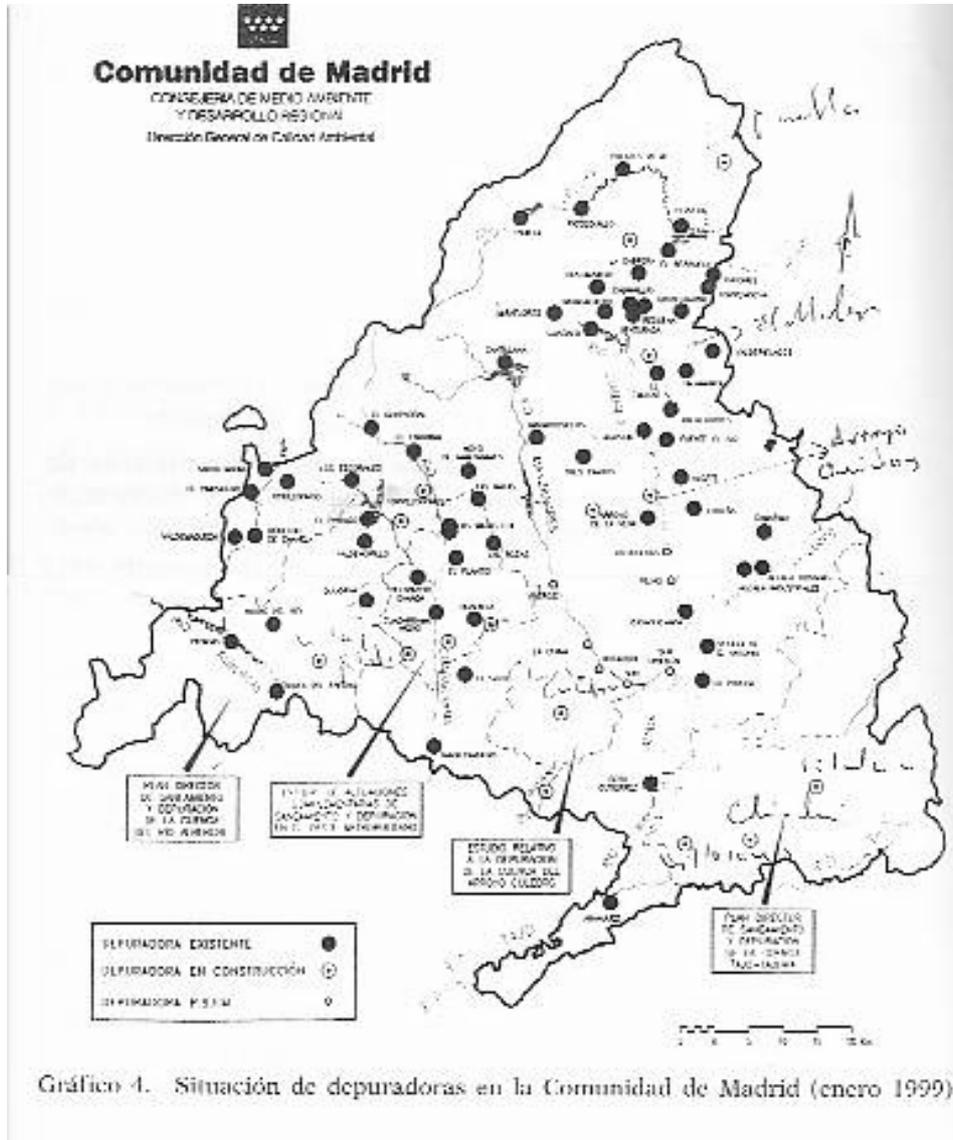


Gráfico 3. Inversiones realizadas por la Comunidad de Madrid en depuración (Umisarios y Filars)



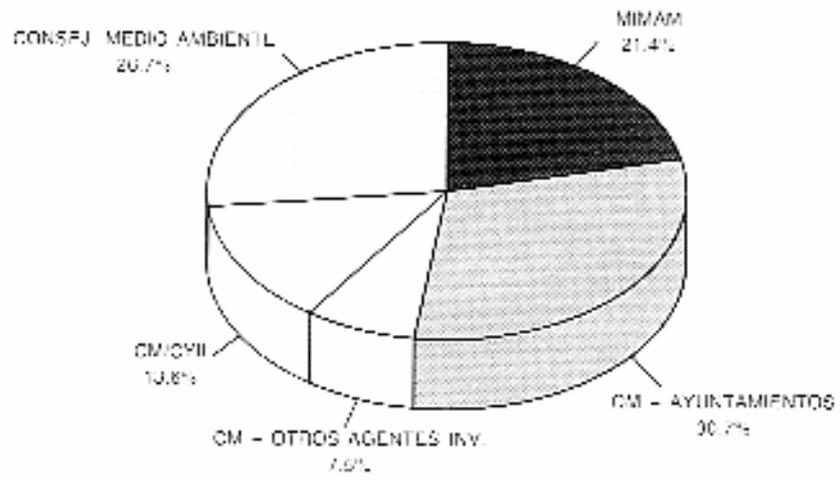


Gráfico 5. Distribución de financiación por organismos.

Tabla 1. PLAN DE SANEAMIENTO Y DEPURACIÓN DE LA COMUNIDAD DE MADRID (1995-2005)
RESUMEN DE INVERSIONES

| PROGRAMA | PROGRAMA | Inversiones (millones de pesetas de 1994) | | | | | | | | | | |
|--|---|---|------------------|----------|----------|----------|----------|-----------------|-----------------|------------|---------|--------|
| | | Año 1995 | Año 1996 | Año 1997 | Año 1998 | Año 1999 | Año 2000 | Total 1995-2000 | Pres. 2001-2005 | Inv. Total | | |
| 1. Emisarias y depuradoras | 101. Nuevas estaciones depuradoras 102. Ampliación de estaciones depuradoras 103. Reducción de nutrientes en zonas sensibles 104. Emisarias 105. Garmelo de la calidad del Suroeste de Depuración 106. Tratamiento de efluentes especiales Total Programa 1 | 830 | 5.225 | 6.996 | 7.730 | 8.610 | 9.021 | 38.681 | 11.110 | 49.791 | | |
| | | 82 | 2.922 | 1.591 | 1.390 | 1.785 | 775 | 7.865 | 3.919 | 12.784 | | |
| | | 1.453 | 3.442 | 1.831 | 1.271 | 3.201 | 3.130 | 18.102 | 205 | 18.307 | | |
| | | | 58 | 58 | 1.400 | 1.502 | 1.342 | 4.200 | 11.606 | 15.806 | | |
| | | | 75 | 75 | 175 | 250 | | 675 | 225 | 900 | | |
| | | | 2.415 | 11.021 | 12.877 | 14.738 | 15.418 | 34.466 | 20.948 | 29.062 | 100.010 | |
| | | 2. Saneamiento Municipal | Total Programa 2 | 2.114 | 2.115 | 1.690 | 2.432 | 2.475 | 2.475 | 13.301 | 1.850 | 25.557 |
| | | | | 1.497 | | 300 | 604 | 604 | 604 | 3.609 | 3.000 | 6.509 |
| | | 3. Recaptación de aguas residuales | Total Programa 3 | | | 300 | 604 | 604 | 604 | 3.609 | 3.000 | 6.509 |
| | | | | | | 300 | 604 | 604 | 604 | 3.609 | 3.000 | 6.509 |
| 4. Disposición y canalización de lodos de depuración | 401. Disposición de lodos de depuración 402. Canalización de lodos de depuración Total Programa 4 | | | 200 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 300 | | |
| | | | | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 800 | |
| Total | | 6.026 | 13.179 | 15.567 | 17.794 | 18.527 | 17.567 | 88.556 | 44.912 | 132.978 | | |

El Agua: Un Recurso Agotable

SEGUNDO JIMÉNEZ GÓMEZ.
De la Real Academia de Farmacia.

1. INTRODUCCIÓN

Hace tiempo que diversos Organismos Internacionales, gravemente preocupados por los problemas del suministro y consumo de agua, tratan de difundir con variadas actividades, las cuestiones relacionadas con ellos. Entre sus acciones está la celebración anual del Día Mundial del Agua, a la que esta Real Academia de Farmacia quiere sumarse con este acto, no sólo por razones de solidaridad, sino porque al mismo tiempo sirve a los fines que le son propios.

Quizá habría que comenzar preguntándose si ¿son necesarias este tipo de actividades? La contestación afirmativa surge de inmediato con sólo saber que 1200 millones de la población mundial, en este momento, no puede beber agua sin riesgo de contraer enfermedades, e incluso morir; cifra nada despreciable que no deja de ser una grave deuda moral y una falta de compromiso político. Pero aún hay más; con las previsiones demográficas actuales, y a pesar de que ha disminuido un poco el crecimiento, para el año 2025 la población habrá aumentado en más de 3000 millones de personas, lo que, estadísticamente, lleva implícito que la cuota de agua “per capita” se habrá reducido al 66% de la actual.

Surge a continuación otra pregunta ¿Está todo dicho sobre el agua? Sinceramente, creo que no. Por lo pronto, se reclama a gritos que la cuestión sea objeto de un enfoque político y económico, con criterios holísticos, es decir con una visión a muy largo plazo y extendida a la totalidad del planeta. El correcto conocimiento del medio sólo puede lograrse si se concibe como un todo integrado, en el que cada una de sus partes se analice y valore en el seno de aquel, pues, como decía von Humboldt hace ya casi dos siglos, “en la gran cadena de causas-efectos ninguna cosa ni ninguna actividad deberá ser tomada aisladamente”.

Pero aún queda una tercera pregunta: ¿Está todo suficientemente difundido entre la población? Y aquí el no es todavía más rotundo. La vida del hombre está salpicada de paradojas, pero la del agua es, sin duda, la más incomprensible de todas. De una parte, y a lo largo de toda la Historia, el hombre lucha por el agua, se pelea con sangre y con saña; lo que yo llamaría las hidroguerras están a la orden del día; los ríos internacionales, o ríos compartidos, de los que sólo en los países en vías de desarrollo hay más de 200 cuencas, son un continuo semillero de problemas.

Limitándonos a cuestiones de hoy, basta mirar el Oriente Medio, dónde el Nilo y el Jordán son causa de inestabilidad en sus respectivas zonas. La presencia israelí en los Altos del Golán, aunque quizá no se diga, puede encontrar también sus motivos en que es allí donde se encuentran buena parte de los cauces que alimentan el Jordán y el lago Tiberiades. Las aguas del Nilo, por su parte, proceden de territorios distintos a Egipto, y abastecen a nueve países de los cuales Egipto es el último en recibirlas. Incluso en la zona de los ríos Tigris y Eufrates, a pesar de su mayor abundancia, existen problemas y han fracasado los acuerdos entre Irak, Siria y Turquía para hacer un reparto equitativo de las disponibilidades. Las naciones, las familias y los individuos han competido siempre por el agua, que es sin duda condición necesaria para la paz, aunque no sea suficiente.

En contraposición, y ahí es donde está la paradoja, quienes disponen o disponemos de ella la derrochamos sin tino ni tasa, de la manera más inconsciente e incongruente. Se usa y abusa como si sobrara en todas partes, y el consumo es tanto mayor cuanto más cómodo sea el suministro. El Banco Mundial ha denunciado con insistencia que una buena parte de los habitantes de países africanos, asiáticos o suramericanos, tienen que desplazarse más de 500 o 1000 metros de su punto de residencia habitual para conseguir el agua que necesitan para beber, con lo que ello acarrea de incomodidad y pérdida de tiempo y de esfuerzos. Pues bien, no hace tantos años, menos de 50-55, que muchos moradores de pueblos españoles tenían que desplazarse esas distancias, e incluso más, para tener una mínima cantidad de agua con la que satisfacer sus necesidades básicas.

Bastarían estos hechos para justificar la Sesión de hoy.

2. DISPONIBILIDADES.

Las disponibilidades de agua, al menos estadísticamente son, prácticamente, fijas. Como es conocido, la sabiduría de la Naturaleza, determina que la cantidad de agua evaporada de los mares sea superior a la que la lluvia les devuelve, en tanto que ocurre al contrario en las áreas de tierra firme del planeta. Esta diferencia, a la que se da el nombre de ciclo hidrológico del planeta, es la que los seres vivos, no sólo el hombre, puede utilizar y si gasta más es a costa de consumir parte de lo que constituye el equilibrio de la Naturaleza y a la postre ha de ir en detrimento de ésta. Así es de sencillo.

A escala mundial el ciclo hidrológico medio suministra un caudal de 45.000 km³ por año, y con ella hay que atender a:

- a) Mantenimiento de los ecosistemas: caudal ecológico.
- b) Consumo doméstico.
- c) Consumo agrícola.
- d) Consumo industrial y minero.
- e) Transferencias al mar, a otros territorios, o a acuíferos subterráneos.

Nuestro particular ciclo hidráulico presenta la siguiente estructura:

| | |
|--------------------|--------------------------|
| Precipitación..... | 346 km ³ /año |
| Evaporación..... | 235 “ |
| Diferencia..... | 111 “ |

Esta diferencia, se descompone de la siguiente forma:

| | |
|--|--------------------------|
| Escorrentía superficial | 182 km ³ /año |
| Recarga de acuíferos | 29 “ |
| Transferencias (al mar o a otros Territorios) | 2 “ |

Suponiendo que lo que va a la recarga de acuíferos se recupera, quedan 109 km³/año que, sobre la base de 39 millones de habitantes, pro-

porciona una disponibilidad media de 2795 m³/persona y año; pero no se puede olvidar que lo disponible no es lo consumible, puesto que hay que atender al **caudal ecológico**, de cuya conservación depende la sostenibilidad del sistema global.

Merece la pena, antes de seguir adelante, comentar algo sobre el **caudal ecológico**. Como tal se entiende el caudal mínimo que es necesario mantener en los cauces para garantizar la biocenosis y la conservación del Medio Natural, o dicho de manera más breve: es el caudal necesario para mantener la vida, en su más amplia concepción. Tan importante es, que en España, algunas Confederaciones Hidrográficas lo consideran prioritario, después del abastecimiento de la población. Esta prioridad es comprensible desde la perspectiva de la opinión pública. Pero si el caudal ecológico tiene la suprema función de garantizar la conservación del Medio Natural, ni siquiera el abastecimiento de la población puede ser condicionante más allá de situaciones coyunturales, o meramente puntuales. Una situación continuada de esta naturaleza no sería aceptable, pues supone la incapacidad de los organismos responsables de garantizar el suministro.

El problema del caudal ecológico, está en la falta de claridad para definir el criterio que establezca su cuantía. Para los más exigentes, cual es el caso del World Resources Institute (“Toward Sustainable Development” Oxford U.P. 1992) el caudal ecológico debe de ser el 80% del flujo de agua puesto en juego en el ciclo hidrológico; en este supuesto a escala mundial sólo podrían utilizarse 9000 km³/año, y la disponibilidad media por persona para la población actual del Planeta sería de 1550 m³/año. Para los menos conservadores, el caudal ecológico, puede disminuirse hasta el 50%, quedando otro tanto para los restantes consumos. En todo caso, parece evidente, que el porcentaje ha de ser variable y el índice de referencia se ha de modificar en función del área geográfica que se considere, de forma que en las zonas secas ha de ser más inflexible que en las húmedas.

En toda la gestión del agua habría que partir de un axioma inviolable: El agua sólo será un recurso renovable si se protegen todos aquellos factores que contribuyen a mantener el ciclo hidrológico.

El consumo mundial de agua se ha triplicado desde 1950. En la actualidad se eleva a unos 4500 km³/año, y el consumo continúa aumentando, con todos los riesgos que ello implica. Por otra parte, el consumo “per cápita” sólo ha crecido un 50%, lo que no es una cifra positiva, sino que pone de manifiesto la influencia de la presión demográfica y que la población crece a mayor ritmo que los suministros. Esto, explica que las tensiones en torno al agua alcancen también a los países de recursos abundantes.

La desigual distribución geográfica de los recursos es, junto al crecimiento demográfico, otro factor no menos preocupante en cuanto al riesgo de agotabilidad. Citaré sólo el caso de China que con más del 22% de la población del planeta dispone sólo del 8% de los recursos mundiales de agua; y, también aquí, el consumo sigue creciendo.

En lo que a España se refiere nuestro consumo es de 1174 m³/ persona y año, equivalentes al 42% de la disponible. Nuestro caudal ecológico es, por tanto, el 58% del flujo hidrológico; es decir, próximo al límite inferior, lo cual es preocupante en un país como el nuestro, donde buena parte de la zona centro, centro-este y sur forman la España seca, en la que debiera mantenerse un caudal ecológico próximo al límite superior del 80% del flujo hidrológico.

3.- SÍNTOMAS ESCASEZ Y DE IRREVERSIBILIDAD.

El agotamiento de recursos está precedido por la irreversibilidad de recuperación, y se llega siempre que la demanda de los seres vivos, no sólo del hombre –naturalmente-, es superior a la oferta de la Naturaleza, que tiene su límite en el mantenimiento de la biocenosis.

Por otra parte, el mundo desarrollado tiene una deuda social, con los países en vías de desarrollo del que ha de derivarse un próximo crecimiento del consumo, pues está obligado a suministrar agua tanto a la población que hoy no la tiene, o no la tiene cerca, como al incremento de habitantes que se produzca en un futuro inmediato. También habrá de mejorar el consumo de los pueblos de menor nivel de vida, que hoy disponen de poco más, o de poco menos, que la cantidad justa para subsistir.

Y, además, deberá contar con los desequilibrios de recursos que se presentan a lo largo de la geografía mundial, cual es el caso de China, citado.

Hay una serie de países o áreas geográficas, en los que el problema será más acusado: En Oriente Medio la población va a pasar de 215 millones en 1995 a 443 millones en el 2030. Los países norteafricanos Marruecos, Argelia, Libia, Tunes y Egipto, pasaran en el mismo periodo (1995 a 2030) de 137 millones a 234 millones. El Africa subsahariana, en análogo periodo pasará de 600 millones a 1370. En Pakistan la población crecerá, también en el periodo citado de 126 millones a 224 millones. La India tiene en este momento (1999) 1000 millones y alcanzará los 1400 millones en el 2030. Se estima que en menos de cinco años todos estos países, y alguno más del África Oriental, tendrán renovaciones anuales de agua inferiores a la media de la demanda.

Ésta es, pues, la tónica. De aquí que en el Documento de las Naciones Unidas, de abril de 1997, titulado "Evaluación Completa del Agua Dulce", no se haya dudado en señalar que una tercera parte de la población mundial viven en países que tienen una escasez entre moderada y alta, pero que esa proporción podría alcanzar las dos terceras partes en el 2030.

El contraste está en los 1000 millones de personas que tenemos un consumo elevado, que está en clara relación con el grado de desarrollo de los países, como se puede observar en la Tabla I.

TABLA I

| Grupo de Países | Consumo anual "Percápita" m ³ | Distribución sectorial del consumo | | |
|-----------------|--|------------------------------------|------------|-----------|
| | | Agrícola | Industrial | Doméstica |
| España | 1.174 | 80 | 7 | 13 |
| Ingreso bajo | 386 | 91 | 5 | 4 |
| Ingreso medio | 453 | 69 | 18 | 13 |
| Ingreso alto | 1.167 | 39 | 47 | 14 |

Fuente: Instituto Mundial sobre Recursos. 1.990

Como se puede apreciar, España, que aún siendo un país desarrollado no está entre los de cabeza, puesto que nuestra renta “per capita” es inferior al 90% de la media de los países de la U.E., tiene un consumo que está ligeramente por encima de la media de los países de ingreso alto. Esto indica claramente que nuestro consumo “per capita” no debiera crecer.

La renta “per capita”, además de ser un indicador de consumo, lo es también del porcentaje de población que dispone o no de agua potable. En la Fig-1- se puede observar que en aquellos países donde la renta es superior a los 10.000 \$, está servida la práctica totalidad de la población, pero por debajo de los 1000 \$ la población carencial es superior al 40%.

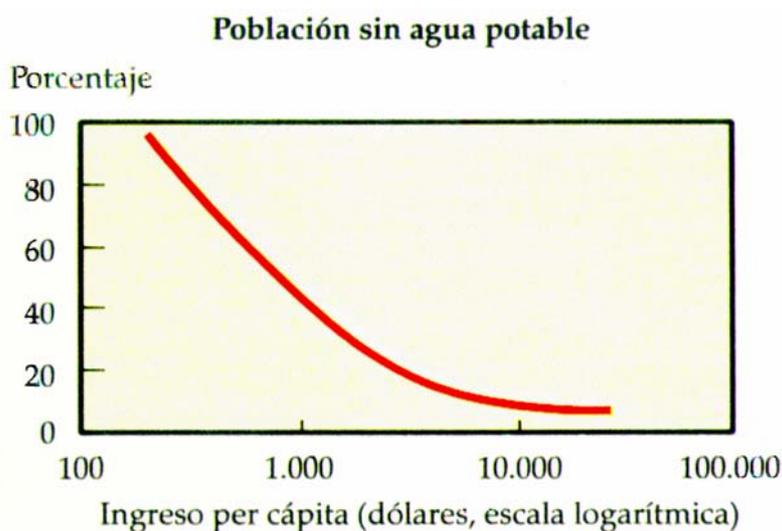


Fig -1-

4.- CAUSAS DE LA ESCASEZ.

Los tres sectores de consumo están fuertemente afectados por la demografía, pero quizá los de mayor incidencia sean el doméstico y el

agrícola, sin que esto signifique descartar el industrial. En el doméstico por lo que obliga a aumentar las áreas urbanas y en el agrícola por la mayor demanda de alimentos, lo se traduce en el aumento de las tierras de cultivo o en el incremento de su productividad.

En uno y otro ámbito, la causa más inmediata son las pérdidas. Hay redes de suministro doméstico en las que se pierde más del 25%, y en las agrícolas se llega al 40%, lo que puede suponer no menos de 2.600 km³/año, cantidad suficiente, para aliviar las graves situaciones carenciales del momento, al menos en términos de valores medios.

Con independencia de las pérdidas, el consumo agrícola es siempre elevado. La propia reacción de fijación fotosintética implica un consumo real de agua, pero además la evaporación y transpiración ejercen un papel decisivo. Por ejemplo, el cultivo de 1 kg de trigo, en una región española de máxima radiación, sólo por evaporación, origina unas pérdidas 500 litros de agua. Y ahí están los cultivos de algodón, con necesidad de 10 m³/kg, el de arroz con 4 m³/kg, o el de caña de azúcar con 1 m³/kg.

Los cultivos de regadío son especialmente consumidores. Su mayor productividad, e incluso los hábitos alimentarios, han sido determinantes para que, a lo largo del siglo que termina, las superficies de regadío se hayan incrementado en un 500%. No obstante, el ritmo de crecimiento ha disminuido en los últimos años a causa de que las prácticas de riego incorrectas, la pérdida de suelos adecuados o su progresiva salinización y la carestía y competencia en la compra del agua, han hecho temer por sus rendimientos futuros. Las áreas de regadíos están creciendo sólo a un ritmo del 1%, lo cual, contribuirá a no aumentar el consumo de agua. Pero esto tampoco es bueno, porque como la población mundial crece al ritmo del 1,7%, es decir, superior al de los regadíos, se compromete la producción y suministro de alimentos. En todo caso, hacia el futuro, la condición básica para implantar regadíos ha de ser la sostenibilidad de los acuíferos que les sirvan.

Sin embargo, sí parece conveniente cambiar los hábitos alimentarios en el sentido de acortar la cadena trófica. El 38% de los cereales producidos en el planeta se usa para la alimentación y cebo del ganado de consumo, que además consume forraje, que es de regadío; de esta manera,

¡producir un kg de carne de consumo puede haber necesitado más de 20 m³ de agua!

A la industria se le suele acusar de ser gran consumidora de agua; pero esto no es demasiado exacto, al menos en la actualidad, pues el sector mantiene una viva preocupación por disminuir su consumo. La industria papelera ha sido una de las más destacadas. A principios de siglo se precisaba un m³ de agua por cada kilogramo de papel, hacia 1990 se habían reducido a 64 litros/kg de papel, y en lo que va de década, en Alemania, todavía se ha disminuido hasta 20-30 litros/tonelada de papel. Tan espectacular reducción se debe, por supuesto, a mejoras técnicas, pero también a la modificación de tarifas de vertido de las aguas residuales. La fig-2- es suficientemente expresiva:

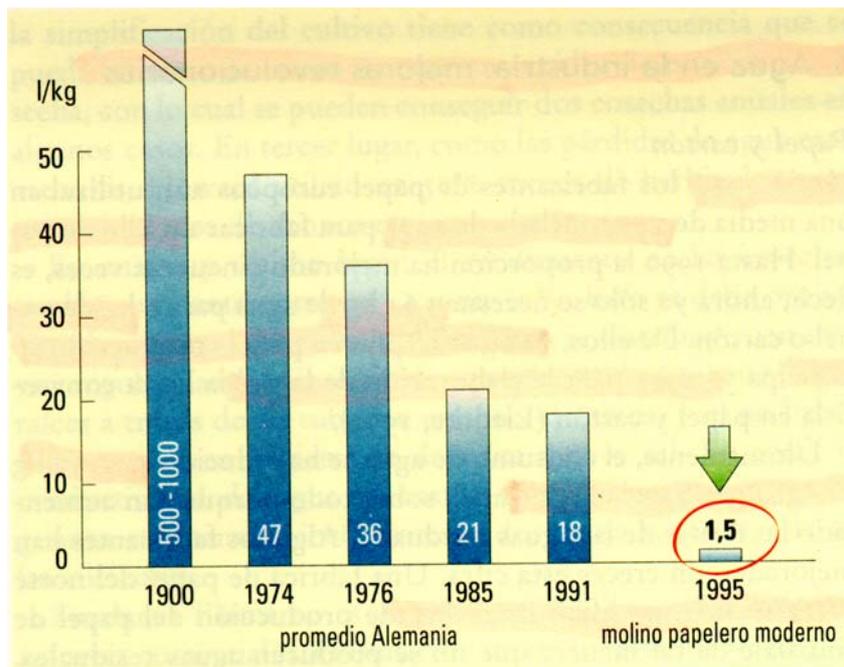


Figura 2-

Junto con la industria papelera, la química, el petróleo, la siderúrgica y las de obtención de metales, son de las más consumidoras. La siderúrgica, pese a haber disminuido mucho el consumo, aún emplea 14 m^3 por tonelada de acero. También son buenas consumidoras las hilaturas de algodón, que hasta hace poco necesitaba 5000 litros de por cada kg de fibra y, después, su transformación en ropa, requería otros 165 litros más; sin embargo, a lo largo de esta década se han disminuido los consumos en un 80% y los vertidos de aguas residuales en un 92%.

El consumo doméstico no tiene por qué ser demasiado elevado. Aún siendo el agua imprescindible para la vida, lo que intrínsecamente necesita el hombre es **un litro diario por cada 30 kg de peso**, es decir, por término medio le bastan 2,5 litros/persona y día. La realidad es otra pues hay otros motivos de consumo –higiene, limpieza, manipulación doméstica de alimentos, etc- que le elevan a más de 90 l/día, equivalentes a unos 30 m^3 / persona y año; pero tampoco esto es válido, pues en los países con alto nivel renta, como USA, se llega hasta los 300 l/día, equivalentes a casi 110 m^3 /año. Y la cifra que normalmente se maneja para tener en cuenta las necesidades urbanas, derivadas de la vida en sociedad, incluidas las pérdidas en los suministros, es la de 300 m^3 /persona y año. La realidad es que de lo que una persona necesita a lo que por término medio consume hay una gran diferencia, sobre la que será necesario economizar.

5. BÚSQUEDA DE SOLUCIONES.

Durante mucho tiempo la política seguida para satisfacer una demanda creciente ha sido incrementar las captaciones, recurriendo a puntos aguas arriba de los cauces; con el correspondiente coste económico y en sostenibilidad del recurso.

La solución más inmediata fue recurrir a las aguas subterráneas. Todo hace suponer que, en la mayoría de los casos, esto se hizo sin valorar los índices de reposición, lo que constituía el mejor camino para agotarlas. Arabia Saudí, China, India, México, y otros países, incluidos USA y nuestra propia nación, se lanzaron a la extracción y consumo de agua de forma, al menos, dudosamente correcta.

Arabia Saudí, está metida en la aventura de producir trigo, en cantidad suficiente para autoabastecerse y para exportar. Emplea para ello aguas subterráneas fósiles, con miles de años de antigüedad. Mediante una extracción de 5.200 millones de m³/año cubre el 75% de sus necesidades, lo que hace prever su agotamiento en 50 años.

En China hay más de diez ciudades cuyos niveles de aguas freáticas bajan de uno a dos metros por año.

En el sur de la India (Estado de Tamil Nadu) tras de 10 años de extracción de agua se han producido descensos de niveles freáticos de 25 metros, circunstancia que se añade al hecho de tener ocho o nueve meses de sequía y tres o cuatro de inundaciones.

El abastecimiento de Mexico DF se hace en buena parte con aguas subterráneas, pero el ritmo de extracción es un 40% superior al de reposición.

En la zona Noroeste de Texas más de la cuarta parte de las reservas están ya agotadas.

Y es bien conocido el caso español del acuífero de La Mancha, donde se han llegado a incendiar las turberas de Daimiel al desecarse por la bajada de niveles freáticos.

Se está recurriendo, también, a trasvases en gran escala -como el del río Yangtse al Amarillo-, a obras de ingeniería enormes, y de tal alto coste, que muchas de ellas se queden en la fase de proyecto, como parece ha sucedido con el fantástico acueducto submarino de Alaska a California.

La desalinización de aguas marinas es una moderada realidad. Y digo moderada porque en el mundo hay unas 8.000 plantas desalinizadoras, con una producción global de agua dulce de poco más de 5 km³, es decir el 5% del ciclo hidrológico español. El proceso no tiene problemas técnicos, pero sí económicos, por lo que, de momento, no es una solución generalizada, aunque sea válida para zonas turísticas secas y áreas insulares.

Hay soluciones más modestas, de alcance local y bajo coste, como es mantener la capacidad de retención de agua del suelo, hacer pequeñas presas para recoger aguas de superficie, frenar la erosión con bancales,

explanaciones y pequeños muros de piedra, según curvas de nivel, etc., todo lo cual contribuye a allegar algún recurso y evitar pérdidas.

De todas maneras, las crisis del petróleo de los años 73 y 78, tuvieron la virtud de hacer ver a la humanidad algo tan elemental como es el que la mejor manera de mejorar la demanda es el ahorro. Los programas de ahorro energético de aquellos años proporcionaron unos resultados espectaculares, por lo que el sector industrial los trasladó al agua en muy poco tiempo. Está muy claro que es más barato ahorrar agua que buscar nuevas fuentes de suministro.

Para ahorrar agua hay que comenzar por evitar las cuantiosas pérdidas; pero no es sólo esto, sino que, además, hay que depurar, reciclar y reutilizar. Estas son las únicas directrices que pueden racionalizar el uso del agua y convertirla en un producto sostenible.

Incluso sin necesidad de penalizaciones, ni de grandes incentivos económicos, la industria ha optado con decisión por el reciclado. Buena parte del agua industrial se usa para refrigeración, por lo que para su reciclado sólo precisa ser enfriada. En otros casos, y dadas las exigencias que hoy se imponen a los vertidos, los costes de tratamiento para su reciclado son inferiores a los de suministro y depuración previa a su vertido.

El sector industrial es donde más claro y arraigado está el concepto de productividad del agua, y hay subsectores, como los de Informática, Electrónica, Aeronáutica, Automoción, Pintura y Alimentación, y en ocasiones, también, la Industria Farmacéutica, que en los últimos años han logrado excelentes resultados. Hoy, en toda industria actualizada y al día, se deben depurar y reciclar, prácticamente, todas las aguas residuales, de manera que sólo sea necesario reponer la evaporación.

En el sector agrícola las cosas no están claras. Está superado el riego a manta, aunque no del todo abandonado, e incluso el de aspersión. Este tiene de común con aquel que se empape gran parte del suelo no sembrado, con el inconveniente añadido de las elevadas pérdidas por evaporación.

En el riego a manta hay una variante conocida como “riego por impulsos”, que consiste en hacer primero un empape breve que satura los poros, y poco después el riego real, que ahorra agua al evitarse una prolongada infiltración, aunque tampoco tiene una gran aceptación.

La gran novedad en los sistemas de riego ha sido el riego por goteo; técnica desarrollada por Israel en los años 60-70, que consiste en distribuir el agua en los campos de cultivo a través de tuberías terminadas por un gotero que se coloca muy próximo a la raíz de la planta, lo que permite aprovechar no menos del 90% del agua aportada, puesto que se evitan las pérdidas por filtración y por evaporación. El diseño de los goteos permite regular y homogeneizar el caudal en todos los puntos de aporte, modificando las pérdidas de carga según la distancia a que estén situados del punto de alimentación. Por otra parte, gracias al uso de sistemas automatizados mediante ordenadores, el suministro de agua se hace en el momento y en la cantidad adecuada. Incluso es un buen sistema para fertilizar por fertirrigación.

Hay una alternativa más económica basada en canalizar el agua a través del cultivo mediante tubos porosos que riegan por exudación, o bien se practican orificios puntuales en los tubos, a intervalos coincidentes con los lugares donde se encuentra la planta, cual remedo de los goteos. El control del agua aportada por este camino es menos eficiente que con los goteos auténticos.

Otro medio decisivo para mejorar la economía del agua agrícola es usar para el riego las aguas residuales urbanas. Es una práctica antigua, abandonada por las exigencias sanitarias, pero que puede ser recuperada si se adoptan las debidas precauciones para eliminar los patógenos persistentes. Utilizadas en bruto para regar hortícolas consumibles en crudo, son causa de enfermedades bien conocidas, como tifus, cólera, etc. Por ello, no se puede prescindir de un mínimo tratamiento depurador, aunque para algunos cultivos, como el maíz o el trigo, baste con mezclarlas con agua de lluvia en una proporción de 20 a 50%.

La OMS autoriza su uso sin restricciones siempre que no se sobrepasen los 1000 coliformes fecales por mililitro. Los tratamientos primarios convencionales de depuración del agua rebajan el contenido de coliformes desde 100 millones por mililitro hasta un millón, lo que es insuficiente, pero en los estanques de estabilización, se alcanza el límite recomendado por la OMS.

Como se sabe, se trata de unas balsas donde se retiene el agua residual entre 10 y 40 días, según su carga orgánica, experimentando una

doble depuración, aerobia en la superficie y anaerobia en la parte inferior. Es un sistema de mantenimiento económico, aunque costoso en espacio, pues se necesitan 30 hectáreas por cada 100.000 habitantes.

El riego con aguas residuales urbanas es un enfoque agrosanitario, que abrevia el ciclo de uso y consumo del agua. Israel utiliza el 70% de sus aguas residuales, parcialmente depuradas, para regar una 19.000 hectáreas, lo que ha permitido que la Agricultura ceda a las zonas urbanas el 38% de su cuota de agua. El beneficio es, pues, doble: mayor disponibilidad de agua urbana y aprovechamiento de los nutrientes agrícolas contenidos en las aguas residuales.

Y todavía he de citar otra vía para aumentar la eficiencia del riego, más en vanguardia que las anteriores, que consiste en la modificación genética de las especies para aumentar la proporción de fotosintato útil y disminuir la proporción de residuo. Hasta no hace mucho la proporción de semilla en los cereales no era superior al 20% de la planta; en la actualidad el índice de cosecha, de fotosintato útil, es superior al 50% para el trigo, arroz y maíz.

Y queda por comentar el ahorro en el ámbito urbano y doméstico. Aquí las medidas de ahorro son más problemáticas, pues dependen en buena parte de la concienciación ciudadana. Decía Benjamín Franklin (“El último Oasis. Sandra Postel. Ediciones Apóstrofe. Barcelona 1993) que “sabemos lo que el agua vale cuando el pozo se ha acabado”.

Las medidas de ahorro se concretan en homologación de equipos e incentivos económicos, apoyadas en campañas de información pública.

La homologación de equipos domésticos de bajo consumo, como cisternas, inodoros, duchas, lavadoras, lavavajillas, etc puede llegar a disminuir hasta el 30% del consumo. Las cisternas son los elementos de mayor consumo, no menos de 10-15 litros, y las que con mayor liberalidad se utilizan. En la actualidad se están homologando en México, las que usen no más de 6 litros.

En 1992 el consumo doméstico en USA era de 300l/ persona y día, pero un Decreto de aquel año obligó a bajarle, mediante la homologación de equipos domésticos, a 190 litros, es decir un 35%. En el periodo comprendido entre 1987 y 1991, los dispositivos de ahorro y las campañas de concienciación, lograron disminuir el consumo en Boston, un 20%. Es

decir, con este tipo de medidas se pueden conseguir disminuciones sensibles del consumo.

Yo creo que el tema el de los incentivos económicos no tiene especial interés en este marco, porque lo fácil es caer en la propuesta de una subida de tarifas, aspecto que puede ser incompatible con muchos criterios, incluidos los religiosos, pues el islamismo, por ejemplo, estima que el agua debe ser gratis ,y así sucede en buena parte del área musulmana. Sin embargo, no puedo dejar de referirme a un sistema implantado en algunos Estados USA conocido como *feebates*, palabra que procede de *fee* (multa) y *rebate* (prima o bonificación), que consiste en premiar la eficiencia y multar la ineficiencia.

Pero también los regidores municipales deben ahorrar. A ellos, además de sugerirles que estudien las posibilidades de ampliar las zonas verdes regables con aguas residuales parcialmente depuradas, hay remitirles al paisajismo *xerofítico* (*xeros*=seco), que consume de un 30 a un 80% menos de agua que los más tradicionales.

6. CONCLUSIONES.

Parece evidente que si la humanidad desarrollada mantiene el actual comportamiento en cuanto al derroche del agua, se terminará su sostenibilidad. Las Naciones Unidas, en el Documento de Evaluación de 1997, hablan de que dos tercios de la población mundial padecerán carencias entre moderada y alta dentro de 25 años. A ese ritmo, en el siglo XXII puede que esté comprometida toda la población mundial, lo que es una situación más grave que el previsible agotamiento del petróleo, pues éste podrá ser sustituido, pero el agua no.

De especial urgencia es dotar de agua a quienes carecen del mínimo vital, aunque sería un grave error que al mismo tiempo en que vayan consiguiendo la disponibilidad no se les eduque suficientemente para evitar que adquieran los mismos vicios derrochadores de las sociedades desarrolladas.

En paralelo, no después, por supuesto, son imprescindibles las medidas de ahorro, pero para su aceptación responsable hay que difundir,

hasta la reiteración, el conocimiento de lo que el agua significa en todo el entramado vital del planeta. El destino de los seres vivos, no sólo el del hombre, está ligado al agua. Se necesita concebir el agua como un patrimonio común, integrado en el amplio campo de la biosfera, y aceptar la premisa de que nuestras necesidades han de adecuarse a los imperativos ecológicos, de los que la especie humana también es partícipe.

En la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro, se dijo que “la escasez generalizada de recursos de agua dulce, su destrucción gradual y su creciente contaminación,.....exigenuna ordenación integrada de los recursos hídricos”, solicitándose de los Estados y de las Naciones Unidas que para el año 2.000 establezcan programas eficaces de aprovechamiento del agua para lograr sistemas sostenibles.

¡Estamos a pocos meses del año 2000!, y tengo la impresión de las Naciones Unidas han dado un cierto avance con el Documento de Evaluación, que hay que aplaudir, pero que no es más que el prólogo para evitar situaciones críticas en el futuro.