

**"Documento original incompleto"**

### III. POBLACIÓN URBANA Y SU INCIDENCIA EN EL APORTE DE VERTIDOS

#### 1. Población

Las aguas residuales urbanas domésticas proceden de la actividad humana, por tanto, es esencial conocer las características de los asentamientos humanos que vierten estos efluentes sobre la cuenca hidrográfica. Las características que presenten estos núcleos de población nos permiten analizar el comportamiento respecto al crecimiento y distribución espacial de ésta.

Para poder conocer el crecimiento y distribución espacial y temporal de la población es necesario recurrir a metodologías de proyección, donde se puede diferenciar dos niveles distintos. En primer lugar se debe aplicar un modelo, el cual parte de una población inicial y de los parámetros de la evolución futura, para estimar así la población en las fechas deseadas. En segundo lugar es necesario estimar los valores futuros del conjunto de parámetros de la proyección.

La forma más sencilla de proyectar la población futura es aplicar a la población actual la tasa de crecimiento prevista para el período de proyección

#### a. Métodos de estimación de proyecciones demográficas

El crecimiento de la población se puede realizar utilizando diversos métodos, de proyección.

Granados ( 1989), explica que distintos autores han examinado la evolución de la población, y la han asimilado a diferentes curvas; exponencial, logística, polinomios de distintos grados, etc.; todas estas curvas y otras, pueden describir en un momento dado muy bien el comportamiento de una población, pero esto no significa que lo hagan hacia el futuro. Sin embargo, para realizar las proyecciones de población de áreas menores a corto y mediano plazo ( corto plazo periodos inferiores a 5 años, de mediano plazo entre 5 y 15 años y de largo plazo, las que van más allá de los 15 años ), estos métodos pueden arrojar en general, resultados bastante aproximados

Estos métodos son matemáticos de extrapolación, la proyección puede ser en forma directa o indirecta ( proyectando la proporción que representa la subárea con respecto al área mayor, u otros tipos de proporciones). Supone que la población tiene un comportamiento histórico relativamente regular, lo cual suele suceder a las poblaciones cuando no están muy afectadas por fluctuaciones debidas a la migración

- Modelo aritmético o lineal.

El crecimiento aritmético supone que en cada periodo la población aumenta o disminuye en el mismo número de personas. Su aplicación esta condicionada por el componente migratorio ya que afectaría el principio del crecimiento de la población. Tampoco se recomienda aplicarlo si la población está disminuyendo, ya que eso significaría hacer disminuir la población a una tasa de crecimiento, donde se podría llegar a una estimación negativa.

Matemáticamente el crecimiento lineal se puede expresar como:

$$P_t = P_0 + gt$$

Donde:

$P_t$  = Población en el momento t

$P_0$  = Población en el momento 0

t = Período de tiempo ( t-0)

g = Incremento anual de población

- Modelo geométrico o exponencial

Supone que la población crece a una tasa constante, esto significa que aumenta proporcionalmente lo mismo en cada periodo de tiempo, pero en número absoluto, las personas aumentan en forma creciente.

Si la población está disminuyendo, lo hará también a una tasa constante, pero en número absoluto irá disminuyendo, acercándose a cero, de tal forma que la población nunca llegaría a ser negativa.

El crecimiento geométrico o exponencial se expresa:

$$P_t = P_0 (1 + r)^t \text{ ó}$$

$$P_t = P_0 e^{rt}$$

Donde:

- P<sub>t</sub> = Población en el momento t
- P<sub>0</sub> = Población en el momento 0
- r = Tasa de crecimiento
- t = Período de tiempo ( t-0 )
- e = Base de los logaritmos naturales

La diferencia en el uso de estas dos curvas se sustenta en que la primera el tiempo se toma como una variable discreta, donde la tasa de crecimiento se mide entre puntos en el tiempo que está igualmente espaciados; y en la segunda considera una variable continua, donde medirá la tasa instantánea de crecimiento.

Para proyectar la población aplicando este método es necesario disponer al menos con la población en dos momentos en el tiempo.

- Modelo de la tasa de crecimiento.

La población se estima a partir del supuesto de que a medida que la ciudad tiene mayor población la tasa de crecimiento disminuye cada año.

Se expresa como:

$$\frac{dp}{dt} = Kd ( S - P )$$

Donde:

- S = población de saturación
- Kd = nueva constante

Se recomienda su aplicación para intervalos cortos de tiempo, estando muy cerca del valor de saturación.

- Modelo de curva logística de la población, donde el crecimiento poblacional está autofrenado, evitando así el inconveniente del método anterior, que conduce a un crecimiento infinito.

Es una síntesis de los anteriores y se fundamenta en que al principio el crecimiento de la población es del tipo geométrico, pasando posteriormente a un crecimiento de valor constante ( es decir de tipo aritmético), para después decaer el porcentaje de crecimiento hasta llegar al valor de saturación

Se recomienda igualmente su aplicación a intervalos cortos de tiempo

- Modelo de semejanza de poblaciones. Utilizado para estimar la población en períodos de largo tiempo. Considera la evolución de ciudades de características similares a la del estudio, pero que hayan pasado por su estado de evolución demográfica.
- Modelo del MOPT. Se toman como base las poblaciones del último censo realizado y las de los censos 10 y 20 años antes y se calculan las tasa de crecimiento anual acumulativo correspondiente a los intervalos entre cada uno de estos censos y el último realizado.

Se expresa como:

$$P_x = P_{x-10} (1 + \beta)^{10} \quad , \text{deduciéndose } \beta$$

$$P_x = P_{x-20} (1 + \delta)^{20} \quad , \text{deduciéndose } \delta$$

Donde:

$$a = \frac{2\beta + \delta}{3}$$

La población futura se estimará a partir de  $P = Pa (1 + \alpha)^t$

- Modelo de componente. Se estima la población con base a un análisis detallado de los componentes que constituyen el crecimiento demográfico es decir: la fecundidad, la mortalidad y la migración.

Es un modelo de *enfoque demográfico* en el que los parámetros son indicadores regionales de fecundidad, mortalidad y migraciones interregionales, diferenciados por sexo y edad, con posibilidad de incluir la migración exterior.

Según Pujol ( 1987), el análisis de los indicadores demográficos utilizados por el método se basan al interior de cada uno en parámetros , a saber :

- **Fecundidad:**

El indicador a nivel global utilizado es la tasa bruta de reproducción, en cuanto a la estructura se trabaja con las tasas de fecundidad por grupos quinquenales.

Es necesario contar con estimaciones previas de nivel y estructura al menos para dos fechas, buscando cómo varían en el tiempo, es decir su tendencia pasada, que junto con otros antecedentes, permita proyectar la fecundidad.

La tasa bruta de natalidad se calcula de acuerdo con la siguiente relación ( para un período quinquenal):

$$b_{(t,t+5)} = B_{(t,t+5)} / N_{(t,t+5)} \cdot 1/5$$

Donde :

$b_{(t,t+5)}$  = Es la tasa bruta media anual de natalidad del período  $t,t + 5$

$B_{(t,t+5)}$  = Nacimientos totales ocurridos durante el período  $t,t + 5$

$N_{(t,t+5)}$  = Población total a mitad del quinquenio  $t,t + 5$ , o población total media de dicho período.

ó

$$\text{Tasa bruta de natalidad} = \frac{\text{Nacimientos ocurridos durante el año } Z}{\text{Población total a mitad del año } Z} \times 1000$$

- *Mortalidad*

El método que más se utiliza es el de la “esperanza de vida al nacer” y luego se estima la estructura por edades que mejor corresponda a ese nivel, garantizando la consistencia entre las edades. Se recurre a una tabla de mortalidad de referencia (país, región o núcleo de población) o se elabora a partir de tablas observadas.

Para estimar la esperanza de vida se aplica el “ajuste logístico”, este permite controlar la evolución de la esperanza de vida en el futuro, puesto que su realización exige la determinación a priori de un límite o asíntota hacia el cual se tiende y que nunca es rebasado

Respecto a la tasa bruta de mortalidad, es la razón entre el número total de defunciones de un año n, y la población.

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$(t_m^n = \frac{D^n}{\frac{p^n + p^{n+1}}{2}})$$

Donde:

$$\begin{aligned} t_m^n &= \text{Tasa bruta de mortalidad año N} \\ D^n &= \text{Defunciones en año n ( por mil )} \\ p^n &= \text{Población en año n} \end{aligned}$$

- *Migraciones*

Las *migraciones* se definen como el traslado de la población de una zona definitiva de la migración a otra, que se ha hecho durante un intervalo de migración determinado y que ha implicado un cambio de residencia

Este fenómeno puede ser causado en la mayoría de los casos por atracción de fuentes de empleo. Para conocer los desplazamientos se podría recurrir a la técnica de la encuesta aplicada en horas establecidas (mañanas) en las paradas de autobuses. Otra forma sería directamente consultar a las empresas la procedencia del empleado.

El indicador a utilizar son los saldos migratorios. Estos saldos migratorios se deben tener por sexo y grupos de edad y por periodos quinquenales.

El *saldo migratorio* se puede calcular mediante varios métodos, la aplicación de cada uno depende de los datos disponibles.

- $SM = I - E$

Donde:

SM = Saldo migratorio  
I = Inmigraciones  
E = Emigraciones

- $SM = (P_1 - P_0) - (N - D)$

Donde:

$P_0$  = Población año  $t_0$   
 $P_1$  = Población año  $t_1$   
N = Nacimiento entre  $t_0$  y  $t_1$   
D = defunciones entre  $t_0$  y  $t_1$

Un aspecto importante de identificar y analizar dentro del proceso de las migraciones es el comportamiento de la *inmigraciones procedentes del sector turístico*. Esto con la finalidad de determinar los flujos y cantidad de personas en relación a la época o estación de año y distribución por zonas, este último aspecto es funcional a la hora de estudiar a lo largo del río los puntos de vertido y el volumen.

A partir de los tres componentes explicados anteriormente, se estima el *crecimiento de la población* expresado en:

- *Crecimiento vegetativo:*

$$Cv = TBN - TBM \text{ ( por mil )}$$

Donde:

Cv = Crecimiento vegetativo:  
TBN = Tasa bruta de natalidad  
TBM = Tasa bruta de mortalidad

- *Saldo migratorio:*

$$SM = I - E$$

Donde:

SM = Saldo migratorio

I = Inmigraciones

E = Emigraciones

- *Crecimiento de la población*

$$C = C_v + SM \quad (\text{por cien})$$

- *Tasa de crecimiento anual*

Resume el comportamiento de un fenómeno o variable ( frecuencia relativa ) en un cierto período ( año ) e involucran la selección de un modelo de crecimiento.

$$T_c = \left( \frac{P_2}{P_1} - 1 \right) \times 100$$

ó

$$T_c = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{1/t} - 1 \times 100$$

- *Cálculo de población a un año determinado*

$$P_f = P_i ( T_c + 1 )^t$$

Donde:

$P_f$  = Población final

$P_i$  = Población inicial

$T_c$  = Tasa de crecimiento

$t$  = Período de tiempo

En síntesis estos enfoques han caído totalmente en desuso, suplantados hoy por el método de los componentes demográficos, es decir de la proyección por separado de los eventos a saber la mortalidad, la fecundidad y las migraciones., que forman la dinámica de una población definida.

En la estimación de las proyecciones se ha utilizado un programa informático de proyección multiregional MUDEA, elaborado por el profesor Frans Willekens de Netherlands Interdisciplinair Demografisch Instituut ( NIDI) adaptado.

El programa permite proyectar una población única o por regiones. El modelo se alimenta de un conjunto de parámetros para cada año de proyección que representan la situación de cada componente demográfico en ese año. Esto han de ser proyectados previamente con el detalle geográfico sexo-edad que requiere la población proyectada.

**2. Distribución de la población y la Dotación de agua**

Una vez analizada la organización y distribución de la población en la cuenca geográfica el paso siguiente consiste en establecer los caudales de aguas residuales domésticas vertidas.

Encaso de no disponer de la información mediante mecanismos directos es preciso *estimar la dotación de agua requerida por ésta, para el desarrollo de las actividades pertinentes. Entendiendo dotación como " el volumen diario de agua por cada habitante."*

Entendiendo como actividades pertinentes lo contenido en el presente esquema:

<p><b>USO DOMESTICO</b> -abastece a -</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Residencial</li> <li>- Comercial</li> <li>- Institucional</li> <li>- Espacios recreacionales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua para beber</li> <li>- Limpieza</li> <li>- Higiene</li> <li>- Fines culinarios</li> <li>- Evacuación de residuos</li> <li>- Regado jardines, espacio verdes</li> </ul>
---	--	---

Los pasos a seguir que se recomiendan son:

**a. Datos de abastecimiento** - basado en la relación de agua demandada y utilizada-

La estimación del consumo de agua se realiza a partir de los datos de abastecimiento en  $m^3$ , en período de tiempo establecidos, según el análisis a realizar.

( horas picos, días, meses)

Para ello es necesario disponer de datos de agua suministrada ( demandada) y el agua realmente utilizada. El procedimiento a seguir es:

• *General :*

A partir de una población de cálculo y fijada la dotación se obtendrá el *consumo teórico* necesario para una población.

$$C = P * D$$

Donde :

C = equivale al consumo urbano en  $m^3$ / día

P = equivale a la población en habitantes

D = equivale a la dotación en  $m^3$ /habitante/día

• *Específico:*

- Estimar el consumo diario por habitante

$$Cd = \frac{\text{media } m^3/d \text{ de facturación}}{\text{( consumidores).( personas consumidoras)}}$$

$$Cd = l/\text{hab. día}$$

- Estimar las pérdidas en red

$$Pr = \frac{\text{media } m^3/\text{día abastecimiento} - \text{media } m^3/\text{día facturación}}{\text{media } m^3/\text{día abastecimiento}} \times 100$$

**b. Valores típicos**

De acuerdo a diversos estudios se han determinado relaciones de dotación, esto permite metodológicamente y en caso de no disponer de datos de abastecimiento, estimar los caudales de agua residual urbana doméstica. La dotaciones han sido tipificadas considerando variables como tipo de usuario, aparatos domésticos.

Lo anterior significa que los valores típicos responden al caudal ( l/hab . d ) que se consumiría según unidad, dentro de cada componente del uso doméstico. Representa una base de información referencial mediante tablas de trabajo.

Entre las referencias bibliográficas, Hernández ( 1994), presenta una relación entre diferentes poblaciones -núcleos- y dotación dada por l / hab.d, la cual se visualiza en el cuadro n<sup>o</sup> 1 y figura 1.

**Cuadro. N<sup>o</sup> 1. Relación de Población y dotación**

Población ( Hab.)	Núcleos	Dotación ( l/hab/d
Menos de 1000	20.136	100
1000 a 6000	2.762	150
6000 a 12000	276	175
12000 a 50000	141	270
50000 a 250000	37	286
superior a 250000	7	458

Fuente : Hernández 1994.

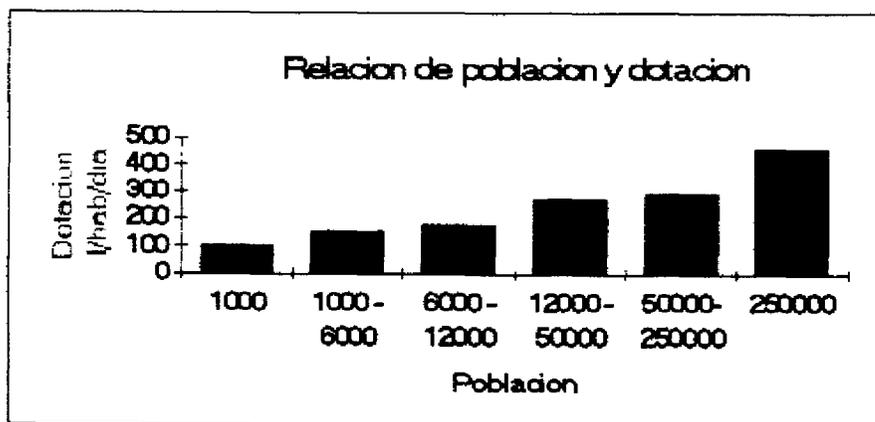


Figura 1

Referente a los caudales medios del agua residual urbana, el cuadro n° 2 ilustra el comportamiento en relación al tipo de infraestructura generadora del consumo por persona

**Cuadro N° 2 Caudales medios de agua residual de origen residencial**

Caudal, L/unidad.d

Origen	Unidad	Intervalo	Valor Típico
Apartamentos	Persona	200-340	260
Hotel , por residente	Residente	150-220	190
Viviendas individuales:	Persona	190-350	280
Casa media	Persona	250-400	310
Casa de clase alta	Persona	300-550	380
Casa de lujo	Persona	100-250	200
Casa semimoderna	Persona	100-240	190
Chalet de verano	Persona	120-200	150
camping de caravanas			

Fuente: Metcaif-Eddy.1985

El cuadro n° 3, estableció como estudio artefactos y actividades concretas que representan el accionar diario que se lleva a cabo en los hogares en la sociedad estadounidense. Sin embargo, las cantidades pueden variar dependiendo de las condiciones económicas de las personas, las actividades domésticas que se realicen durante el día que a su vez puede ir asociado a la práctica cultural y educativa de la forma de consumo del agua

**Cuadro N° 3 Caudales de agua residual per cápita originados en aparatos convencionales doméstico**

Aparato	Caudal de agua L/hab.d	residual %
Grifo de bañera	30,3	12
Lavadora	34,1	14
Grifo de fregadero	26,5	11
Grifo de aseo	11,4	5
Ducha	45,4	19
Lavado	94,6	39
<b>Total</b>	<b>242,3</b>	<b>100</b>

Fuente. Metcalf-Eddy.1985

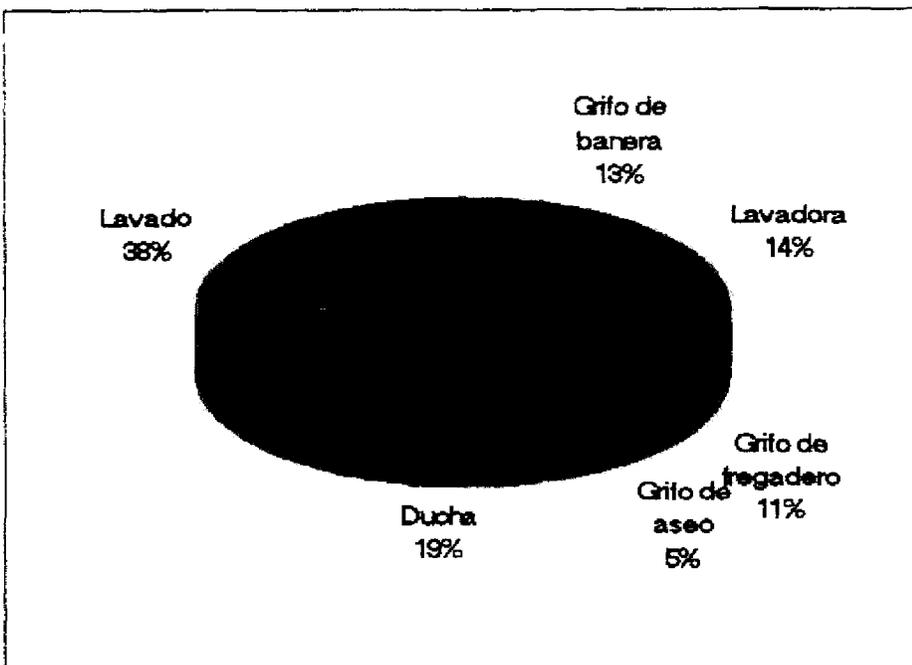


Figura 2

Por otro lado, de acuerdo con un estudio detallado efectuado por la U.S. Geological Survey y citado Metcalf-Eddy (1985) señala que la dotación media de los abastecimientos públicos de agua en 1970, se estimó en alrededor de 628 l/hab.d. donde las pérdidas totales y los usos públicos se estimaron aproximadamente en un 30% de las dotaciones.

Siguiendo con el planteamiento de Hernández (1994), las fluctuaciones en el consumo de agua varían según la estación o época de año. La tasa máxima del consumo de agua tiene lugar generalmente durante los meses de verano o época seca cuando el agua se utiliza para el riego de calles y jardines, y en invierno, cuando se dejan correr grandes cantidades para evitar la congelación de las tuberías y cañerías. Esto se aplicaría a latitudes altas, no así a la zona intertropical. Deben considerarse las variaciones horarias, en razón de su efecto sobre el caudal de aguas residuales. Por lo general, la curva de descarga de las alcantarillas es muy parecida a la curva del consumo de agua, pero con un retraso de algunas horas

Se tiene entonces que el agua que abastece a los asentamientos urbanos ( agua consumida) representa la *principal fuente vertida sobre el sistema de alcantarillado de aguas residuales*.

Por lo general, sin considerar la infiltración del agua subterránea, un 60 a un 80% del consumo de agua per cápita se transformará en agua residuos

### 3. Caudales vertidos en relación con la población

A partir de que se conoce el consumo de agua por parte de la población, se estiman los caudales vertidos.. Retomando siempre las categorías espacio-tiempo en el marco de si son continuos o discontinuos. Donde la “ característica fundamental de un vertido es su carga contaminante y ésta viene definida por el volumen y la contaminación.”

Se establece que el cálculo de los caudales se lleva a cabo en forma diferente en relación a la procedencia del vertido.

En el caso doméstico se considera el consumo de agua de abastecimiento. Utilizando variables como dotación según tipo de usuario, usuario-caudal l / hab, tipo de establecimiento, artefactos domésticos. Donde la localización geográfica, el clima, tamaño de población, grado de industrialización son determinantes para dicha dotación. Asimismo las fluctuaciones de consumo l/hab/h, lo que significa que la descarga de agua varía en relación al consumo.

Dependiendo del acceso a la información básica para estimar dichos caudales se utilizan diferentes métodos. Para fines metodológicos se trabaja por sectores

- *Zonas residenciales* A partir de densidad de población, distribución del agua residual por habitante y utilización de tablas tipificadas

Para grandes barrios se estima en función de la superficie que ocupan y la densidad de población prevista.

- *Zonas comerciales.* Se expresa en m<sup>2</sup>/ha.d. Se hace a partir de datos comparativos existentes y utilización de tablas tipificadas.

- *Centros institucionales.* Se hace a partir de datos comparativos existentes y utilización de tablas tipificadas.

- *Espacios y centros recreativos.* Se hace a partir de datos comparativos existentes y utilización de tablas tipificadas.

Unido a la estimación cuantitativa se puede realizar un análisis cualitativo con categorías tales como formas del vertido ( directo o indirecto), concentraciones de contaminantes, distribución y dispersión de estos.