

# **Influencia de la variabilidad del volumen de la masa de agua en los modelos input-output empleados en limnología para una posible aplicación a los embalses (\*)**

**Por JOSE LUIS SANCHEZ LOPEZ**

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

*El presente artículo consta de dos partes claramente diferentes. En la primera se realiza una somera revista a los modelos de limnología, sus hipótesis iniciales y desarrollo matemático consecuente. En la segunda se trata de analizar las consecuencias que, en dichos modelos, produce la consideración de la variabilidad del volumen real de la masa de agua en estudio, obteniéndose unos resultados totalmente acordes con los actualmente aceptados que pueden justificar su aplicación a los embalses.*

## **1. INTRODUCCION**

Creo que puede ser interesante tratar de extender, al menos en el mundo de los técnicos, una primera aproximación al comportamiento de las grandes masas de agua continentales. Es cierto que su ausencia en nuestro país puede justificar parcialmente el escaso interés despertado; sin embargo debe recordarse que, si bien España carece de grandes lagos naturales, son muchos e importantes los embalses construidos en todas sus cuencas hidrográficas. Los diferentes usos a que se destinan las aguas en ellos almacenadas pueden verse seriamente afectados por los fenómenos cuya evaluación es objeto de los modelos que en este escrito se tratan.

No se va a recoger aquí ningún tipo de explicación sobre los procesos de eutrofización de las aguas naturales. La aparición, y sus causas, de los nutrientes, las transformaciones de los mismos en las masas de agua o las posibles consecuencias en cuanto a los empleos previstos de dichas aguas son temas que, aun constituyendo la causa primera y principal del estudio de los modelos que nos van a ocupar, ahora no consideraremos. Y ello por la doble razón de no cargar inútilmente este trabajo y de poder cen-

trarnos así en el objeto perseguido. Los técnicos dedicados al estudio y explotación de los abastecimientos de agua con embalses que reciben fuertes aportaciones de nutrientes conocen sobradamente las perniciosas consecuencias y múltiples problemas a que nos estamos refiriendo.

## **2. LOS MODELOS INPUT-OUTPUT, SUS HIPOTESIS INICIALES Y DESARROLLO CONSECUENTE**

Para llegar a conocer el comportamiento futuro de un lago o cualquier masa de agua continental en relación a una sustancia que entra en él, permanece en su masa y acaba siendo expulsada por los desagües del mismo o reciclada en su interior, se han desarrollado una serie de razonamientos más o menos reales que permiten plantear una ecuación diferencial cuyo análisis o integración representa el modelo futuro de la masa de agua. Por tanto, el modelo es sencillamente una ecuación en la que diferentes magnitudes características del lago y de la sustancia en estudio quedan relacionadas.

Los fundamentos teóricos para el planteamiento de la ecuación citada consisten en establecer la continuidad de la masa de la sustancia en el lago, relacionando para ello el estado temporal

(\*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que podrán remitirse a la Redacción de esta revista hasta el 31 de mayo de 1985.

de la masa del agua y los flujos de entrada y salida. Matemáticamente hablando, la cuestión reside en obtener la ecuación que imponga la nulidad de la suma de los flujos de la sustancia en estudio al lago. Es decir:

$$\sum M_i = 0 \quad [1]$$

Sin embargo, la masa de agua de un lago, o cualquier otro almacenamiento natural o artificial, presenta una serie de características dispares según el lago elegido o, dentro del mismo lago, según la época del año, e incluso aún en el mismo momento según el punto elegido dentro de la masa de agua. Es por ello que en el planteamiento matemático se hace necesario recurrir a una serie de simplificaciones que nos han de alejar de la realidad. Así pues, según las simplificaciones admitidas, la ecuación [1] se desarrollará con unas u otras hipótesis de partida y, a su vez, según sean éstas, el campo posible para aplicar los resultados obtenidos también variará. Inicialmente el interés del modelo, en general, tendrá cuando menos tres vertientes:

- Planteada la ecuación con cierta generalidad permitirá, mediante la medición de concentraciones reales, conocer una estimación numérica aproximada de algunos procesos interiores de la sustancia en la masa del agua. La existencia de datos estadísticos suficientes permitirá determinar su valor.
- Obtenido el modelo como función del tiempo podrá, en un instante determinado, fijarse la concentración buscada de la sustancia, conocidas las demás variables.
- Si se obtiene un modelo para una situación estabilizada de la masa de agua se podrá predecir las características de dicha masa cuando la estabilización ocurra. Por situación estabilizada entenderemos el «steady state» de la literatura anglosajona, es decir, la situación en que la sustancia en estudio no sufra modificaciones cuantitativas en el lago. Después nos extenderemos con mayor precisión sobre este concepto.

Dentro de los diferentes modelos que pue-

den plantearse nos vamos a ceñir a los lineales, que, junto a su mayor sencillez, son los que han logrado unos resultados de mayor concordancia con las mediciones y datos estadísticos. Y a su vez, dentro de ellos, analizaremos las dos posibilidades de que hayan o no intercambios en la superficie de contacto sedimentos-masa de agua.

## 2.1. Sin intercambios entre sedimentos y agua

El planteamiento que se va a hacer, con un máximo de restricciones, será el más sencillo, pero, en contraposición, será también el que más se aleje de la realidad y tenga un mínimo de aplicación.

Las hipótesis iniciales podemos resumirlas en la siguiente forma:

- La sustancia en estudio en la masa de agua se conserva íntegramente, sin flujos secundarios internos en forma de lazo.
- Total homogeneidad de la masa de agua. Cualquier cambio que se produzca en la misma, como consecuencia de los flujos de entrada, actúa instantáneamente sobre la totalidad de la masa.
- Sedimentación nula. O lo que es igual intercambio nulo de la sustancia hacia o desde los sedimentos.

Las hipótesis que se acaban de señalar significan la no transformación de un compuesto en otro que contenga la sustancia en estudio, la no estratificación térmica y la neutralidad total en la superficie de contacto sedimento-agua en relación a la sustancia.

De acuerdo con estas hipótesis la ecuación [1] puede escribirse:

$$\sum M_i - \sum M_{ou} - \frac{dM_w}{dt} = 0 \quad [2]$$

en donde:

$M_w$  = masa total de la sustancia M disuelta o suspendida en el volumen V de la masa de agua.

$\sum n_i$  = suma total de las fracciones de la sustancia M aportadas por cada afluente al lago.

$\sum l_{oi}$  = *idem* salida del lago por sus desagües.

Por la hipótesis antes señalada como b):

$$[m_w] = \frac{M_w}{V}$$

siendo:

$[m_w]$  = concentración media de la sustancia M en el agua del lago.

Si ahora designamos por:

$v_i, v_{ou}$  = caudales de entrada y salida del lago.

$[m_i], [m_{ou}]$  = concentraciones respectivas de los caudales anteriores.

$\rho_{ou} = \frac{v_{ou}}{V}$  = coeficiente de vaciado o desagüe.

$l_i = \frac{v_i [m_i]}{V}$  = carga aportada por unidad de volumen.

la ecuación diferencial [2] puede escribirse:

$$\frac{1}{V} \frac{dM_w}{dt} = \frac{d[m_w]}{dt} = \sum \frac{v_i}{V} [m_i] - \sum \frac{v_{ou}}{V} [m_{ou}]$$

que puede quedar de la siguiente forma:

$$\frac{d[m_w]}{dt} = l_M - \rho_{ou} [m_{ou}]$$

Pero la concentración de salida será la misma que presente la masa de agua, es decir:

$$[m_{ou}] = [m_w]$$

por lo que, sustituyendo, se obtiene:

$$\frac{d[m_w]}{dt} = l_M - \rho_{ou} [m_w] \quad [3]$$

La ecuación [3] es la ecuación diferencial más sencilla para predecir el comportamiento del lago. Admitiendo que en un instante  $t = t_0$  la concentración de la masa  $[m_w]_0$ , la solución de

[3] es:

$$[m_w]_t = [m_w]_0 \cdot e^{-\rho_{ou}(t - t_0)} + \frac{l_M}{\rho_{ou}} (1 - e^{-\rho_{ou}(t - t_0)}) \quad [4]$$

que nos definirá la concentración de la sustancia M en el tiempo.

Cuando  $t$  tienda a infinito  $[m_w]_t$  se estabiliza, alcanzando el valor:

$$[m_w] = \frac{l_M}{\rho_{ou}} \quad [5]$$

Esta ecuación es el modelo teórico más sencillo que puede obtenerse.

## 2.2. Con intercambios entre sedimentos y agua

La ecuación [1] se plantea ahora:

$$\frac{dM_w}{dt} = v_i [m_i] - v_{ou} [m_{ou}] - A_e F_e + A_s F_s \quad [6]$$

Como se ve, ha quedado eliminada la hipótesis c) del apartado anterior, aunque se conservan la a) y b). Las letras empleadas corresponden a:

$A_e$  = área de la zona del epilimnion.

$A_s$  = área de los sedimentos.

$F_e$  = flujo positivo o negativo de la sustancia a través del epilimnion.

$F_s$  = flujo positivo o negativo de la sustancia a través de los sedimentos.

Con la hipótesis adicional de que  $A_e F_e = A_e \bar{D} [m_w]$ , donde  $\bar{D}$  es un coeficiente de sedimentación medio, puede escribirse:

$$\frac{dM_w}{dt} = v_i [m_i] - v_{ou} [m_{ou}] - A_e \bar{D} [m_w] + A_s F_s \quad [7]$$

Dividiendo por  $V$ , y recordando que  $[m_{ou}] = [m_w]$ , podemos imponer la condición de estabilización, como  $d[m_w]/dt = 0$ , y queda:

$$[m_w] = \frac{\frac{v_i}{V} [m_i] + \frac{A_s}{V} \cdot F_s}{\frac{v_{ou}}{V} + \frac{A_e}{V} \cdot \bar{D}}$$

Si se supone que la carga interna es despreciable,  $F_s \approx 0$ :

$$m_w = \frac{v_i m_i}{v_{ou} + A_e \cdot \bar{D}} \quad [8]$$

Si se añade la condición de que  $v_i = v_{ou} = Q$  (aportación anual), la ecuación [8] queda:

$$[m_w] = \frac{[m_i]}{1 + \frac{A_e}{Q} \cdot \bar{D}} \quad [9]$$

Este modelo es el general, posteriormente adoptado en los estudios llevados a cabo por la OCDE y del cual han derivado todos los modelos específicos.

### 3. OBSERVACIONES A LAS HIPOTESIS DE LOS MODELOS ANTERIORES

En el apartado anterior nos hemos limitado a exponer el desarrollo habitual de los modelos que nos ocupan; no hay, por tanto, aportación original ninguna. A partir de este momento se desarrollan los puntos que, fundamentalmente, motivan este escrito.

En el punto 2.1, letras a), b) y c), se han señalado las hipótesis admitidas para el primer modelo, y después, apartado 2.2, se han añadido otras dos para la obtención del modelo definitivo. Sin embargo, no es totalmente cierto.

De una forma implícita se han considerado otras hipótesis adicionales cuyo significado no es despreciable. Estas hipótesis son:

a') El volumen de la masa de agua es constante.

En efecto, una de las sustituciones efectuadas en la ecuación [2] fue:

$$\frac{1}{V} \cdot \frac{dM_w}{dt} = \frac{d[m_w]}{dt}$$

Esta sustitución es correcta si a las hipótesis admitidas se le añade la de constancia de volumen. La relación realmente existente será:

$$M_w = [m_w] \cdot V$$

en el supuesto de que fueran realmente:

$$M_w = M(t) \quad [m_w] = m(t) \quad y \quad V = V(t)$$

Por tanto, es claro que cuanto se deduzca de los modelos [5] y [9] será válido solamente para masas de agua con volumen constante.

b') En segundo lugar, una vez planteada la ecuación diferencial [3], su solución efectivamente es [4], a condición de que:

$$I_M = \frac{v_i}{V} [m_i] \quad y \quad \rho_{ou} = \frac{v_{ou}}{V}$$

sean constantes en el tiempo.

En principio no se ha fijado en ninguna hipótesis la constancia de dichas magnitudes, y por tanto el llegar a la solución de la ecuación diferencial [3] implicaría el conocimiento previo de las funciones  $\rho_{ou} = \rho(t)$ ,  $I_M = I(t)$ . No cabe decir que, aunque los diferentes factores que componen  $I_M$  y  $\rho_{ou}$  son variables, la operación efectuada es constante.

Las observaciones realizadas hasta aquí quedan parcialmente paliadas si se fija como supuesto inicial que el lago se está considerando como un sistema abierto con un volumen de control que, por tanto, es constante. Es fundamental fijar esta condición previa, pues en caso contrario, según se acaba de señalar, no sería válido el desarrollo matemático. Situados, pues, en este supuesto, debe observarse:

a) Los resultados obtenidos son aplicables únicamente a masas de agua con volumen constante en el tiempo. Quedan descartados los embalses y cuantos almacenamientos de agua continentales sufran variaciones sensibles de volumen.

b) En el desarrollo se admite la constancia de la concentración de entrada, hipótesis que debe añadirse.

Admitidas, por tanto, estas hipótesis adicionales, el modelo obtenido [5] enmascara un fenómeno tan sencillo como que un vaso de agua azucarada puesta debajo de un grifo, y dejando correr el agua, acaba conteniendo agua sin azúcar. La realidad, y el proceso intuitivo fruto de la experiencia coincide con ella, es que no se ne-

osita un tiempo infinito, sino el necesario para llenar varias veces el vaso. Las hipótesis admitidas en el planteamiento matemático son las que ajustan levemente los resultados deducidos del modelo de los que son fruto de la experiencia.

Vamos a traducir matemáticamente las observaciones anteriores. Admitida la constancia de volumen resulta:

$$V = \text{cte.} \quad \frac{dV}{dt} = 0 \quad \text{pero} \quad \frac{dV}{dt} = v_i - v_{ou},$$

luego  $v_i = v_{ou}$

La condición de situación estabilizada es  $d[m_w]/dt = 0$ , por lo que si la aplicamos a la ecuación [2], junto con  $v_i = v_{ou}$ , resulta:

$$v_i[m_i] - v_i[m_w] = 0$$

y, por tanto,

$$[m_i] = [m_w] \quad [10]$$

Este resultado expresa matemáticamente lo expuesto antes; pero es que coincide con el modelo [5]. En efecto:

$$[m_w] = \frac{I_M}{\rho_{ou}}$$

Al ser  $v_i = v_{ou}$ :

$$I_M = \frac{v_i}{V} [m_i] = \frac{v_{ou}}{V} [m_i] = \rho_{ou}[m_i]$$

luego:

$$[m_i] = \frac{I_M}{\rho_{ou}}$$

y, por tanto:

$$[m_i] = [m_w]$$

A título de curiosidad, para verificar la aproximación entre el proceso intuitivo y el modelo deducido basta ver el tiempo necesario para llegar a obtener valores de  $[m_w]_t$  que se aproximen cuanto deseemos a  $[m_i]$ . Si hacemos:

$$[m_w]_{t_0} = K_1[m_i] \quad \text{y} \quad [m_w]_{t_1} = K_2[m_i]$$

se obtiene:

|       |       |       |        |
|-------|-------|-------|--------|
| $K_1$ | 0,50  | 0,1   | 0,01   |
| $K_2$ | 0,95  | 0,99  | 0,999  |
| $t$   | 2,3 x | 4,5 x | 11,5 x |

tiempo de llenado que indica la bondad del modelo en relación a las experiencias.

## 4. CONSIDERACION DE LA VARIABILIDAD DEL VOLUMEN

La manifiesta no constancia del volumen y de la concentración de entrada en las masas de agua en estudio ha llevado al empleo del modelo [8], o los específicos de él derivados, de una forma especial. Dada la ritmicidad de los procesos naturales se han considerado como instantes sucesivos la misma época de los diferentes años. Como, al mismo tiempo, las masas de agua, dentro de los cambios que experimentan a lo largo del año, muestran una cierta estabilización durante períodos más o menos largos dentro del año, se han aplicado dichos modelos con la ritmicidad señalada.

Estas consideraciones parecen aproximarse a la realidad cuando se trata de estudiar grandes masas de aguas naturales, y, en efecto, para ellas puede considerarse que:

$$v_i = v_{ou} = Q, \text{ aportación anual.}$$

$$A_w = \text{superficie del lago en estudio.}$$

y, por tanto, el modelo [8] sería el recogido en [9].

Sin embargo, en los embalses la situación puede ser muy diferente, diferencia que se acentúa si se piensa en la irregularidad de nuestros ríos. Parece más lógico pensar que la variabilidad del volumen de la masa de agua contenida en el embalse en estudio debe ser una hipótesis de partida. Vamos, pues, a realizar el desarrollo matemático en este supuesto.

### 4.1. Sin intercambios entre sedimentos y agua

La ecuación [2] sería la misma:

$$\frac{dM_w}{dt} = v_i[m_i] - v_{ou}[m_{ou}]$$

La relación entre  $M_w$ ,  $[m_w]$  y  $V$  sería:

$$M_w = [m_w] \cdot V$$

y, por tanto:

$$\frac{dM_w}{dt} = [m_w] \frac{dV}{dt} + V \frac{d[m_w]}{dt} \quad [11]$$

siendo

$$\frac{dV}{dt} = v_i - v_{ou} \quad [12]$$

Sustituyendo [11] y [12] en [2]:

$$V \frac{d[m_w]}{dt} + (v_i - v_{ou}) [m_w] = v_i [m_i] - v_{ou} [m_{ou}]$$

Recordando que  $[m_{ou}] = [m_w]$ , y operando:

$$\frac{d[m_w]}{dt} = \frac{v_i}{V} ([m_i] - [m_w]) \quad [13]$$

La ecuación [13] sería el modelo buscado. Si en ella hacemos ahora

$$\frac{v_i}{V} = K_1 = \text{cte} \quad , \quad y \quad \frac{[m_i]}{[m_w]} = f(t)$$

$$\frac{d[m_w]}{m_w} = K_1 (f(t) - 1) dt$$

y llamando  $F(t) = \int f(t) dt$ , se tendría:

$$[m_w]_t = e^{K_1 (F(t) - t) + C_0} \quad [14]$$

No parece, sin embargo, mostrar muchas posibilidades este camino. Por el contrario, la consideración de la situación estabilizada  $d[m_w]/dt = 0$ , nos permite operar en la ecuación [13]:

$$\frac{v_i}{V} ([m_i] - [m_w]) = 0$$

y, por tanto,

$$[m_i] = [m_w]$$

que nos ha permitido deducir el mismo modelo que teníamos en el supuesto de volumen fijo.

Cabe únicamente plantearse la posibilidad de que la existencia de datos estadísticos nos permitieran llegar a fijar una  $f(t)$  y que, por tanto, fuera factible llegar a obtener [14] en su expresión definitiva. Si bien es posible que este trabajo pueda presentar un cierto interés heurístico no parece conducir a resultados prácticos inmediatos.

## 4.2. Con intercambios entre sedimentos y agua

La ecuación [6] que recogíamos anteriormente era:

$$\frac{dM_w}{dt} = v_i [m_i] - v_{ou} [m_{ou}] - A_e \cdot F_e + A_s \cdot F_s$$

Si introducimos las ecuaciones [11] y [12] queda:

$$v_i [m_w] - v_{ou} [m_w] + V \frac{d[m_w]}{dt} = v_i [m_i] - v_{ou} [m_{ou}] - A_e \cdot F_e + A_s \cdot F_s$$

Y recordando que  $[m_{ou}] = [m_w]$ , con la condición de estabilización  $d[m_w]/dt = 0$

$$[m_w] v_i = [m_i] v_i - A_e \cdot F_e + A_s \cdot F_s$$

Y si ahora consideramos un coeficiente de sedimentación puntual, no medio, podemos escribir:

$$F_e = H [m_w]$$

y, por tanto:

$$[m_w] = \frac{v_i [m_i] + A_s \cdot F_s}{v_i + H \cdot A_e} \quad [15]$$

Debe observarse que la situación definida por [15] es puntual en el tiempo, y, por tanto, cuantas variables intervienen no son características del embalse sino de la situación del embalse en un instante determinado. Con el objeto de destacar la variabilidad señalada indicaremos con minúsculas los símbolos de los factores que intervienen:

$$[m_w] = \frac{v_i [m_i] + a_s \cdot f_s}{v_i + h \cdot a_e}$$

Si consideramos que la carga interna sea despreciable:

$$[m_w] = \frac{v_i [m_i]}{v_i + h \cdot a_e}$$

o bien:

$$[m_w] = \frac{[m_i]}{1 + h \cdot \frac{a_e}{v_i}} \quad [16]$$

Puede observarse que el modelo [16] deducido es totalmente acorde con el [9], que posteriormente ha sido aceptado por la OCDE, pero con la gran diferencia de que en su deducción se ha partido de la hipótesis de variabilidad del volumen de agua en el embalse. Ambos modelos

coincidirían si acaecen una serie de supuestos:

- Al llegar la primavera, momento en que han de realizarse las mediciones para aplicar [9], el embalse está completamente lleno, pues entonces  $a_e = A_e$ .
- La aportación anual del año en que se realizan las mediciones es igual a la media, ya que sería, en ese caso,  $v_i$  equivalente a  $Q$ .
- El coeficiente de sedimentación medio coincide realmente con el que se presenta en la primavera, ya que sería  $h = \bar{D}$ .

## 5. ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE EL COEFICIENTE DE SEDIMENTACION

Al objeto de analizar someramente el coeficiente  $h$ , antes empleado, podemos poner [16] de la siguiente forma:

$$\frac{[m_i]}{[m_w]} = 1 + h \frac{a_e}{v_i}$$

o bien:

$$h = \left( \frac{[m_i]}{[m_w]} - 1 \right) \frac{v_i}{a_e}$$

mientras el medio era:

$$\bar{D} = \left( \frac{[m_i]}{[m_w]} - 1 \right) \frac{Q}{A_e}$$

por lo que podemos escribir:

$$h = \frac{v_i}{Q} \cdot \frac{A_e}{a_e} \cdot \bar{D}$$

Si consideramos en el año dos grandes periodos, que definimos cada uno en el momento de llegar la primavera y el otoño, respectivamente, tendríamos:

- $h_{\text{pri}} \approx \bar{D}$ , ya que en ese momento el embalse se aproxima a su máxima cota y el caudal aportado suele tender al medio.
- $h_{\text{oto}} > \bar{D}$ , ya que al llegar el otoño el embalse estará medio vacío,  $a_e \ll A_e$ , y el caudal de aportación será mayor que el medio,  $v_i > Q$ .

¿Cabe pensar que masas de agua con  $\bar{D}$  similares presenten diferencias en los valores de  $h$ ? Quizá comportamientos anormales encuentren así su explicación.

## 6. CONCLUSIONES

La consideración de la variabilidad del volumen de la masa de agua en estudio parece llevar a:

- El modelo matemático, cuando no existe intercambio en la superficie sedimentos agua, no cambia, y es:

$$[m_w] = [m_i]$$

para la situación estabilizada.

- El modelo, cuando se considera el intercambio interno, es totalmente acorde al obtenido para la constancia de volumen si se fija un coeficiente de sedimentación instantáneo en vez de un medio.
- La concordancia de ambos modelos es total si se cumplen los condicionantes señalados al final del apartado 4.
- Puede ocurrir que diferentes comportamientos de masas de agua con características generales similares encuentren su explicación en el coeficiente de sedimentación puntual.

## BIBLIOGRAFIA

Sobre el lago o embalse, como ecosistema, pueden consultarse, por su amenidad y concisión, los siguientes trabajos:

- GOLDMAN CHARLES, R.: «Limnology». McGraw-Hill, Book Company, 1983.
- MARGALEF, R.: «Ecología». Editorial Planeta, 1981.
- MOSS BRIAN: «Ecology of freshwaters». Blackwell Scientific Publication, 1980.
- VALLENTYNE, J. R.: «Introducción a la limnología». Editorial Omega, 1978.

Centrándonos en el proceso de eutrofización y los sistemas de lucha, son interesantes, y sirven como introducción al tema aquí tratado, los siguientes:

- Colloque Franco.—«Suisse sur la protection des lacs». Techniques et sciences municipales, suplemento, 1978.

CORRAL ESTRADA, J.: «La eutrofización». Cimbra.

OCDE: «Eutrophisation des eaux. Methodes de surveillance, d'évaluation et de lutte», 1982.

ORTIZ CASAS, J. L.: «Contaminación en cuencas, eutrofización en embalses». Cima, 1982.

Sobre los modelos input-output, y habiendo servido de base para el resumen recogido en el apartado 2 del presente trabajo:

VOLLENWEIDER, R. A.: «Imput-output models with special reference to the phosphorus loading concept in limnology». Schweiz Z. Hydrol, 1975.

VOLLENWEIDER, R. A.: «Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication». Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 1976.

VOLLENWEIDER, R. A.; RAST, W., y KEREKES, J.: «The phosphorus loading concept and Great Lakes eutrophication». Proc. 11th Annual Cornell University Conference, 1979.

OCDE: «Eutrophisation des eaux. Methodes de surveillance, d'évaluation et de lutte», 1982.

ORTIZ CASAS, J. L.: «Contaminación en cuencas, eutrofización en embalses». Cima, 1982.

José Luis Sánchez López.



Obtiene el título de ingeniero de Caminos en 1966 y el de doctor ingeniero en 1973, ambos en la Escuela de Madrid. Tras un año en la Jefatura Regional de Carreteras, en Valencia, pasa a AUXIESA, proyectando la obra civil de la central térmica San Juan de Dios III, IV y V, ampliación de la fábrica de celulosas de San Juan del Puerto, toma submarina para la refrigeración de la central nuclear de Vandellós (con SOCIA), etcétera. Desde 1971 pasa a la Mancomunidad de los Canales de Taibilla, en Cartagena, desempeñando los puestos de ingeniero de Proyectos, jefe de Explotación y, en la actualidad, del Gabinete Técnico. Ha proyectado numerosos abastecimientos de los municipios mancomunados. En 1977 ingresa por oposición en el Cuerpo de Ingenieros de Caminos del MOPU. Es profesor titular de la Escuela Universitaria Politécnica de Gerona.

