

***Prefraga***<sup>®</sup>

Valoración de la  
sostenibilidad  
de las tuberías  
de saneamiento





***Prefraga***<sup>®</sup>

Valoración de la sostenibilidad  
de las tuberías de saneamiento

Proyecto realizado por:

**Universidad Politécnica de Cataluña**  
**Departamento de Ingeniería de la Construcción**

Docentes:

**D. Antonio Aguado de Cea**

(Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos).  
Catedrático de Universidad.

**D. Alejandro Josa García-Tornel**

(Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos).  
Catedrático de Escuela Universitaria.

**D. Bernat Viñolas Prat**

(Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos).  
Doctorando en el Departamento de Ingeniería  
de la Construcción

**D. Albert de la Fuente Antequera**

(Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos).  
Doctorando en el Departamento de Ingeniería  
de la Construcción

**D. José Parrot Bernat**

(Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos).  
Profesor ayudante en el Departamento de Ingeniería  
de la Construcción

Proyecto financiado por:

**Prefabricados Fraga, SA (PREFRAGA)**

Edita:

**Prefabricados Fraga, SA**

Coordinación editorial:

**Adriana López Fontanals**

Imprime:

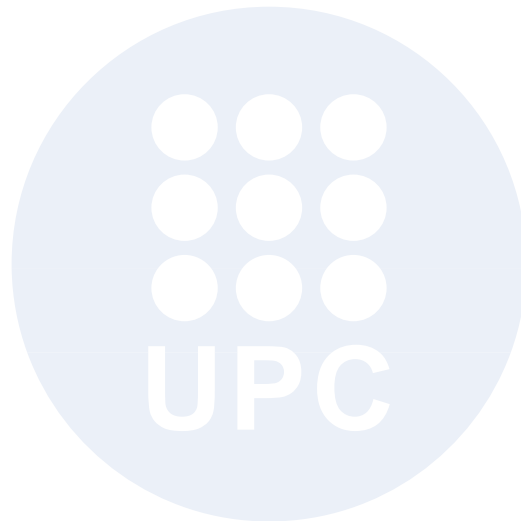
**Impressus Gestió Integral S.L.**

Prohibida la reproducción total o parcial  
sin la autorización expresa del editor.

## ÍNDICE

Introducción	7
Sostenibilidad en redes de saneamiento	9
1) Ámbito y metodología utilizada en el estudio	10
2) Claves para una valoración objetiva	11
3) Valoración de los indicadores mediante funciones de valor	15
4) Valoraciones de las alternativas	22
5) Análisis a largo plazo	24
6) Resultados obtenidos	27
7) Conclusiones	30





## Introducción

Desde hace más de cien años se ha reconocido en nuestro país la importancia de disponer de una red de saneamiento segura y eficiente. En la segunda mitad del siglo XX surgieron, en el mundo de las tuberías, materiales innovadores como las tuberías de hormigón armado y las de derivados del plástico y, tanto unas como otras, mejoraron sus sistemas de unión garantizando la estanquidad. En el siglo XXI no sólo pedimos a nuestros sistemas de saneamiento que sean eficientes, se construyan con el material más adecuado y cumplan con los requisitos de seguridad, sino que deben satisfacer los principios económicos, sociales, funcionales y medioambientales de sostenibilidad.

Desde la primera vez que fue enunciado, hace ya más de veinte años (ONU, 1987), el concepto de desarrollo sostenible ha mantenido plenamente su vigencia desde un punto de vista conceptual.

En líneas generales, se entiende por desarrollo sostenible aquél que satisface las necesidades del presente sin comprometer las de las generaciones futuras. Por tanto, una actividad sostenible, es aquella que se materializa con un mínimo o nulo impacto negativo sobre el entorno en el que influye, de manera que pueda prolongarse en el tiempo de forma indefinida.





## Sostenibilidad en redes de saneamiento

De una forma simplificada se puede decir que un objetivo esencial para tender al desarrollo sostenible es optimizar la utilización de todo tipo de recursos en cualquier decisión o actividad, evitando, en un sentido general, cualquier uso o gasto superfluo o injustificado. Consecuentemente, para alcanzar este objetivo será necesario analizar previamente todas las alternativas que puedan considerarse razonables en cada caso y analizar cuál de ellas es la mejor teniendo en cuenta los diferentes aspectos del Desarrollo Sostenible (tanto medioambientales como económicos, sociales y funcionales) dentro de nuestros límites del sistema.

Esto significa, sin duda alguna, tener que comparar parámetros difícilmente expresables en las mismas unidades e incluso a veces difícilmente cuantificables. Si el resultado no es un único valor sino una serie de valores correspondientes a cada uno de los criterios (medioambientales, económicos, sociales y funcionales) considerados, cada alternativa podrá superar a las demás en determinados aspectos pero quizás no en todos. Esto hace necesario valorar de alguna manera aspectos diferentes.

Como concepto, la sostenibilidad es un valor y puede establecerse un parámetro relativo a la misma para su uso en la realización de comparaciones y toma de decisiones. En dichas comparaciones se puede determinar si una actividad es más, menos o igualmente sostenible que otra. La misma necesidad, con idénticos requisitos, se satisface de un modo igual, más o menos sostenible que con otro producto o procedimiento.

Dicha comparación se debería hacer globalmente, integrando en ella la totalidad de los aspectos a considerar. Ello lleva a la necesidad de realizarla en un periodo largo de tiempo en el que se produzcan todas las circunstancias previsibles y se manifiesten todos los aspectos valorables. Este periodo se identifica con el ciclo de vida del producto que se crea para satisfacer esa necesidad.

Por tanto, para medir la sostenibilidad es necesario acordar, previamente, un modelo de cuantificación y tratamiento de análisis del ciclo de vida, en el que se establezcan los criterios de ponderación y valoración. La sostenibilidad solamente se puede cuantificar después del balance de consumos a lo largo de toda la vida útil de la obra, por lo que además de los costes de ejecución de dicha obra (primera instalación) es imprescindible valorar, a modo de previsión, los costes de mantenimiento, conservación y utilización por parte del usuario. Con frecuencia, la incidencia de los costes posteriores a los correspondientes a la "primera instalación" resultan definitivos.

En general, la sostenibilidad aumenta cuando:

- Disminuye el consumo de materiales.
- Disminuye el consumo de energía para producir dichos materiales.
- Se aprovechan materiales procedentes de procesos de reciclado.
- Disminuye el gasto de conservación y mantenimiento.
- Disminuye el coste de utilización de la obra terminada por parte del usuario.
- Aumenta la vida útil (vida de servicio) de la obra, salvo cuando sea estrictamente necesario que la construcción tenga una limitación en su vida útil, como puede suceder en algunos proyectos industriales.
- La obra se ejecuta considerando adecuadamente cualquier otro aspecto medioambiental.

En este contexto Prefraga ha decidido llevar a cabo un estudio para cuantificar objetiva y rigurosamente la sostenibilidad de las tuberías de saneamiento. Fruto de esta iniciativa surge el convenio entre la Universidad Politécnica de Cataluña-UPC y Prefraga con el objetivo general de comparar el grado de sostenibilidad de las tuberías de hormigón fabricadas en Prefraga con el de otras tipologías de tuberías de otros materiales.

El resultado de este convenio es el estudio de:

### **"VALORACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LAS TUBERÍAS DE SANEAMIENTO"**

Elaborado por:

- D. Antonio Aguado de Cea (Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos). Catedrático de Universidad.
- D. Alejandro Josa García-Tornel (Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos). Catedrático de Escuela Universitaria.
- D. Bernat Viñolas Prat (Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos). Doctorando en el Departamento de Ingeniería de la Construcción.
- D. Albert de la Fuente Antequera (Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos). Doctorando en el Departamento de Ingeniería de la Construcción.
- D. José Parrot Bernat (Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos). Profesor ayudante en el Departamento de Ingeniería de la Construcción.

En las siguientes páginas se realiza un breve resumen de dicho estudio, que consta de los siguientes apartados:

- 1) Ámbito y metodología utilizada en el estudio
- 2) Claves para una valoración objetiva
- 3) Valoración de los indicadores mediante funciones de valor
- 4) Valoraciones de las alternativas
- 5) Análisis a largo plazo
- 6) Resultados obtenidos
- 7) Conclusiones

## 1) Ámbito y metodología utilizada en el estudio:

La metodología utilizada para realizar la valoración del grado de sostenibilidad de las tuberías de saneamiento es el “*Modelo Integrado de Valor para Evaluaciones Sostenibles-MIVES*”, que permite valorar cuantitativamente la sostenibilidad de diferentes alternativas utilizando el análisis de valor.

Las alternativas para las que se ha calculado el índice de sostenibilidad en este estudio son:

- Hormigón en masa con unión elástica ( $D_{int}=400$  mm.), clase R. HM 400
- Hormigón armado con unión elástica ( $D_{int}=800$  mm.), clase IV. HA 800
- Hormigón armado con unión elástica ( $D_{int}=1200$  mm.), clase IV. HA 1200
- Hormigón armado con unión elástica ( $D_{int}=2000$  mm.), clase IV. HA 2000
- Polipropileno estructurado ( $D_{ext}=450$  mm.); SN 8. PP 450
- Policloruro de Vinilo compacto ( $D_{ext}=800$  mm.); SN 8. PVC 800
- Polietileno estructurado ( $D_{ext}=1200$  mm.); SN 8. PE 1200
- Poliéster reforzado fibra vidrio ( $D_{int}=2000$  mm); SN 10 PN 10. PRFV 2000

Cabe destacar que la metodología MIVES se ha aplicado de forma muy similar para valorar la sostenibilidad de estructuras de hormigón en el nuevo anejo 8 de sostenibilidad que se incluye en la Instrucción de Hormigón Estructural-EHE08.

# Prefraga®

## 2) Claves para una valoración objetiva:

### 2.1) Fijar los límites del sistema:

Consiste en fijar los componentes y las fases del ciclo de vida que serán estudiados, teniendo únicamente en cuenta aquellos que sean representativos y discriminantes. En los requerimientos funcional económico y social el ciclo de vida considerado ha sido como fase inicial la entrada de materiales en fábrica y como fase final 1km entero de tubería de saneamiento colocado y en servicio, teniendo en cuenta uniones y piezas especiales. En el estudio del requerimiento medioambiental se incluye también en el sistema la extracción de materias primas por ser un factor discriminante.

### 2.2) Realización de un árbol de toma de decisión:

Es la ordenación de forma ramificada de todos aquellos aspectos que serán estudiados. Existen varios niveles de ramificación, en el primero se encuentran los cuatro requerimientos más generales: Funcional, Económico, Medio ambiental y Social. En los últimos niveles de la ramificación se encuentran los indicadores, que son los aspectos más concretos y que son valorados directamente.

Una parte importante del éxito y la fiabilidad del estudio radica en que el árbol de toma de decisión se ha realizado con la participación mediante seminarios de técnicos expertos en el mundo de la hidráulica y que desempeñan su trabajo en la administración. Esto ha permitido conocer sus experiencias, las actuales demandas y retos de las tuberías de saneamiento y lo más importante: que sea la administración quien dictamine qué indicadores son los de mayor importancia.

En esta línea de trabajo se realizó en primer lugar una reunión con el Consorcio de Aguas de Bilbao, que sirvió para realizar un árbol de toma de decisión base.

A continuación se realizó un primer seminario en el que participaron técnicos de las siguientes administraciones de Cataluña: Consorcio de Aguas de Tarragona, Agencia Catalana del Agua, Aguas del Ter-Llobregat y RECSA.

## Valoración de la sostenibilidad de las tuberías de saneamiento

El árbol de toma de decisión que surge a partir del primer seminario es el que aparece en la siguiente tabla:

Requerimientos	Criterios	Indicadores
Funcional Peso: 11,11%	Disfunciones estructurales en los tubos Peso: 33,33%	Degradación en la superficie Peso: 100%
	Disfunciones estructurales en las uniones Peso: 33,33%	Riesgos en las uniones entre tubos y con otros elementos Peso: 100%
	Capacidades añadidas Peso: 33,33%	Capacidad mecánica añadida. Peso: 100%
Económico Peso: 33,33%	Costes Peso: 80%	Coste suministro + colocación Peso: 100%
	Tiempo Peso: 20%	Plazo ejecución Peso: 100%
Medio ambiental Peso: 33,33%	Emisiones en la fabricación y transporte de tubos Peso: 20%	Emisiones de CO <sub>2</sub> Peso: 100%
	Recursos empleados en todo nuestro sistema Peso: 60%	Consumos de materias primas Peso: 33,33%
		Consumos de agua Peso: 33,33%
		Energía requerida Peso: 33,33%
Medidas correctoras de tipo medioambiental peso: 20%	Sensibilidad medioambiental de la planta productora de tubos Peso: 100%	
Social Peso: 22,22%	Seguridad personas implicadas Peso: 25%	Riesgos accidentes laborales en producción y ejecución Peso: 100%
	Afectación a (o por) terceros Peso: 75%	Tiempo afectación y reparación Peso: 33,33%
		Contaminación nivel freático Peso: 33,33%
		Fiabilidad frente a posibles roturas por actuaciones ajenas – Vulnerabilidad Peso: 33,33%

Tabla 1. Árbol de Toma de Decisión - Seminario Cataluña

Como última fase del estudio se realizó un segundo seminario con técnicos de la Diputación y el Ayuntamiento de Zaragoza para discutir los índices de valoración obtenidos y realizar un análisis de sensibilidad modificando los pesos de varios requerimientos, criterios e indicadores. Además, se incluyen dos posibles situaciones: una en la que la tubería se coloca en zona rural y

otra en la que se coloca en zona urbana. En el caso de zona rural se da mayor importancia al indicador contaminación del freático, mientras que en el caso de zona urbana se da mayor importancia al aspecto tiempo de afectación y reparación.

Los respectivos árboles de toma de decisión se encuentran respectivamente en las tablas 2 y 3:

Requerimientos	Criterios	Indicadores
Funcional Peso: 11,11%	Disfunciones estructurales en los tubos Peso: 25 %	Degradación en la superficie Peso: 100%
	Disfunciones estructurales en las uniones Peso: 50 %	Riesgos en las uniones entre tubos y con otros elementos Peso: 100%
	Capacidades añadidas Peso: 25 %	Capacidad mecánica añadida. Peso: 100%
Económico Peso: 33,33%	Costes Peso: 80%	Coste suministro + colocación Peso: 100%
	Tiempo Peso: 20%	Plazo ejecución Peso: 100%
Medio ambiental Peso: 20,00 %	Emisiones en la fabricación y transporte de tubos Peso: 20%	Emisiones de CO <sub>2</sub> Peso: 100%
	Recursos empleados en todo nuestro sistema Peso: 60%	Consumos de materias primas Peso: 30 %
		Consumos de agua Peso: 20 %
		Energía requerida Peso: 50 %
Medidas correctoras de tipo medioambiental peso: 20%	Sensibilidad medioambiental de la planta productora de tubos Peso: 100%	
Social Peso: 35,55 %	Seguridad personas implicadas Peso: 25%	Riesgos accidentes laborales en producción y ejecución Peso: 100%
	Afectación a (o por) terceros Peso: 75%	Tiempo afectación y reparación Peso: 25 %
		Contaminación freático Peso: 60 %
		Fiabilidad frente a posibles roturas por actuaciones ajenas – Vulnerabilidad Peso: 15 %

Tabla 2. Árbol de Toma de Decisión – Seminario Zaragoza – Zona rural

Requerimientos	Criterios	Indicadores
Funcional Peso: 11,11%	Disfunciones estructurales en los tubos Peso: 25 %	Degradación en la superficie Peso: 100%
	Disfunciones estructurales en las uniones Peso: 50 %	Riesgos en las uniones entre tubos y con otros elementos Peso: 100%
	Capacidades añadidas Peso: 25 %	Capacidad mecánica añadida. Peso: 100%
Económico Peso: 33,33%	Costes Peso: 80%	Coste suministro + colocación Peso: 100%
	Tiempo Peso: 20%	Plazo ejecución Peso: 100%
Medio ambiental Peso: 20,00%	Emisiones en la fabricación y transporte de tubos Peso: 20%	Emisiones de CO <sub>2</sub> Peso: 100%
	Recursos empleados en todo nuestro sistema Peso: 60%	Consumos de materias primas Peso: 30 %
		Consumos de agua Peso: 20 %
		Energía requerida Peso: 50 %
Medidas correctoras de tipo medioambiental peso: 20%	Sensibilidad medioambiental de la planta productora de tubos Peso: 100%	
Social Peso: 35,55%	Seguridad personas implicadas Peso: 25%	Riesgos accidentes laborales en producción y ejecución Peso: 100%
	Afectación a (o por) terceros Peso: 75%	Tiempo afectación y reparación Peso: 50 %
		Contaminación freático Peso: 20 %
		Fiabilidad frente a posibles roturas por actuaciones ajenas – Vulnerabilidad Peso: 30 %

Tabla 3. Árbol de Toma de Decisión – Seminario Zaragoza – Zona urbana

### 3) Valoración de los indicadores mediante funciones de valor:

Para cuantificar las alternativas a través de los indicadores se han realizado funciones de valor para cada indicador que varían entre 0 y 1, y representan el estado de valoración desde nulo hasta la valoración máxima. La función de valor utilizada se define mediante cinco parámetros que, al variarlos, permiten obtener todo tipo de formas: formas de S, cóncavas, convexas o lineales. Los parámetros que definen el tipo de función son:  $K$ ,  $C_i$ ,  $X_{\max}$ ,  $X_{\min}$  y  $P_i$  (Ecuación 1 para funciones crecientes).

El valor de B se calcula partiendo de los 5 valores anteriores (Ecuación 2).

$$V_{ind} = B \cdot \left[ 1 - e^{-K_i \cdot \left( \frac{|X - X_{\min}|}{C_i} \right)^{P_i}} \right]$$

Ecuación 1

$$B = \left[ 1 - e^{-K_i \cdot \left( \frac{|X_{\max} - X_{\min}|}{C_i} \right)^{P_i}} \right]^{-1}$$

Ecuación 2

#### 3.1) Indicadores valorados mediante encuestas a técnicos

Debido a que algunas alternativas son bastante novedosas y todavía no se dispone de suficiente información sobre ellas los siguientes indicadores han sido valorados a través de encuestas realizadas a técnicos especialistas en el mundo de la hidráulica:

- Degradación en la superficie;
- Riesgos en las uniones;

- Plazo de ejecución;
- Riesgo accidentalidad;
- Tiempo afectación y reparación;
- Contaminación del freático;
- Vulnerabilidad.

La función de valor que se usará para valorar todos los indicadores en forma de atributos es la que se encuentra a continuación (figura 1).

En función de cuál sea la media de las puntuaciones quedará fijado el punto de las abscisas de la gráfica de la figura 1. Una vez conocido el punto del eje de las abscisas, mediante la gráfica de la función de valor se encuentra el punto de las ordenadas que no es más que la valoración del indicador estudiado.

#### 3.2) Indicadores del requerimiento funcional

Se valoran la capacidad mecánica añadida y el consumo de materias primas en la ejecución por ser dos indicadores íntimamente ligados. En las tuberías de materiales plásticos, la resistencia del sistema tubería-terreno depende del material que se dispone en la zanja. Si los materiales que se disponen no son seleccionados y la compactación no es la prevista en proyecto, la resistencia de la tubería de plástico disminuye considerablemente.

Si no se disponen materiales seleccionados en la obra significa que la valoración del indicador resistencia añadida disminuye. Por el contrario, la valoración del indicador consumo de materias primas aumenta porque muchos de los materiales del terreno serían aprovechados. Es decir, el grado de reaprovechamiento de los materiales excavados de la zanja podría llegar a ser el 100%.

La forma de valorar estos dos indicadores será reproduciendo lo que sucede en la realidad. Es decir, en un principio se dispone de un material tipo muy corriente en la parte superior del terreno: suelos medianamente cohesivos. Gravas y arenas arcillosas o limosas. A partir

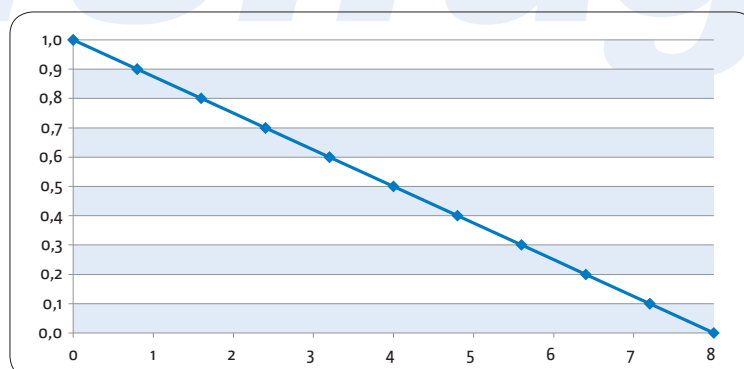


Figura 1. Función de valor de los indicadores valorados mediante encuesta

de aquí, se calcula cuanto más puede resistir la tubería. Si la tubería no tiene resistencia suficiente, se deberá colocar un material seleccionado. Dependiendo del tipo de material a disponer y de la cantidad se valorará de una forma u otra el indicador consumo de materias primas. Una vez conocido el tipo de relleno que debe disponerse, se podrá calcular la capacidad estructural añadida de la tubería en estudio.

En la figura 2 se observa la función de valor de la capacidad mecánica añadida, y en la tabla 4 se muestra la forma de valorar el indicador consumo de materias primas durante la ejecución. Dependiendo del tipo de relleno que deba realizarse el grado de reaprovechamiento de materiales será diferente y, por lo tanto, la valoración también será diferente. Si se puede rellenar la zanja con cualquier tipo de terreno, es decir, si el tipo de material puede ser de características malas (tipo 4), el grado de reaprovechamiento de los materiales de la

zanja podrá ser del 100% y la valoración del indicador consumo de materias primas será de 1. Por el contrario, si es necesario un relleno de muy buena calidad (tipo 1), no se podrán reaprovechar muchos de los materiales de la zanja y la valoración del indicador será igual a 0.

### 3.3) Indicadores del requerimiento económico

La forma de la función de valor del indicador coste de suministro y colocación es en S y el punto de inflexión se encuentra aproximadamente en el valor 0,5 de las coordenadas en abscisas y el valor de  $(X_{m\acute{a}x.} - X_{m\acute{i}n.}) / 2$  en las ordenadas. Partiendo de los costes mínimos y máximos de todas las tuberías de saneamiento, contabilizando fabricación, transporte y colocación se ha obtenido el punto de mínima y máxima satisfacción. Los parámetros de dicha función se muestran en la tabla 5:

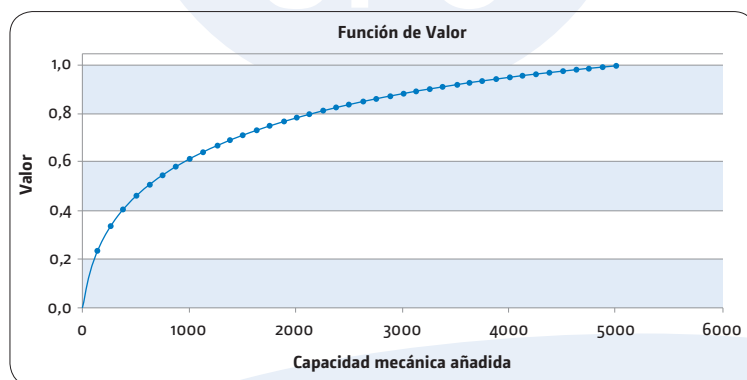


Figura 2. Función de valor del indicador capacidad mecánica añadida (Kg/m²)

Dependiendo del tipo de material de relleno	Valoración
No cohesivos. Gravas y Arenas sueltas. Porcentaje de fino inferior al 5 por ciento. Tipo 1.	0
Poco cohesivos. Gravas y Arenas poco arcillosas o limosas. Porcentaje de finos del 5-15 por ciento. Tipo 2.	0,33
Medianamente cohesivos. Gravas y Arenas arcillosas o limosas. Porcentaje de finos del 15-40 por ciento y los limos poco plásticos. Tipo 3.	0,67
Cohesivos. Arcillas, limos y suelos con componentes orgánicos. Tipo 4.	1

Tabla 4. Tabla de valoración del indicador de consumo de materias primas

Indicador	Diámetro del tubo	X <sub>mín.</sub>	X <sub>máx.</sub>	C	K	P	Forma
Costes de suministro + colocación €/ml	400	170	20	95	0,95	1,95	S decreciente
	800	405	50	225	0,95	1,95	S decreciente
	1200	760	150	390	0,95	1,95	S decreciente
	2000	1350	400	530	0,95	1,95	S decreciente

Tabla 5. Función de valor para el indicador costes de suministro y colocación



### 3.4) Indicadores del requerimiento medioambiental

Como ya se ha explicado anteriormente los límites del sistema para los indicadores del requerimiento funcional empiezan en la extracción de las materias primas utilizadas para la fabricación de cada tipología de tubería. Cabe destacar que a pesar de que el petróleo es un recurso limitado y el consumo de sus derivados supone un gasto medioambiental alto (en la mayoría de casos se producen materiales no biodegradables) no se ha tenido en cuenta dicho gasto de petróleo en tuberías plásticas por ser difícilmente cuantificable.

#### 3.4.1) Energía requerida y emisiones de CO<sub>2</sub>

En primer lugar se comparan las distintas fuentes consultadas, observándose la dispersión de resultados en función de su origen, debido a la utilización de metodologías y criterios distintos.

En la tabla 6 se observan los consumos de energía calculados para la extracción y la producción de hormigón, PVC-U, PP, y PE según José María Baldasano y Jesús Cua-

drado. Los datos están representados para la obtención de 1 kilogramo de material listo para la producción o para una tubería de características descritas ya producida.

En la Tabla 7 se presentan resultados de otro estudio (Milieudéfensie, 1991), realizado en Holanda con el título Milieuvriendelijk verpakken in de toekomst - empaque que en el futuro no será perjudicial para el medio ambiente-. Como se puede observar, estos valores de consumo energético son considerablemente diferentes de los anteriores. Es por este motivo que en este documento se utilizan valores medios calculados a partir de las cifras encontradas por cada autor.

En la Tabla 8, están recopilados valores de energía requerida y de emisiones de CO<sub>2</sub> para la fabricación de 3m lineales de cada tipo de tubería de diámetro 400mm según Baldasano y Parra, 2005. Según estos datos, y a diferencia de los citados anteriormente, las tuberías de hormigón son las que más energía consumen y más dióxido de carbono producen.

Material	Energía por Kg (MJ/Kg) Según Jesus Cuadrado	Energía por Kg (MJ/Kg) Valor representativo adoptado	Energía por Kg (MJ/Kg) Según José María Baldasano
PVC-U	desde 7.228 hasta 11.32	10	7,19
PP	desde 1 hasta 12.2	6.1	5.55
PE	desde 17.18 hasta 19.58	18.3	6.23
Hormigón	3.88x10 <sup>-3</sup>	0.00388	0.26

**Tabla 6.** Comparativo energía necesaria para la extracción y obtención del material en Mega joules/Kg.

Materiales	Energía por kg (MJ/Kg)
PVC	53
PP	73
PEHD	70

**Tabla 7.** Relación MJ invertidos para obtener 1 kilogramo de material (Milieudéfensie,1991)

Para cada 3 metros de tubería de	Peso (Kg)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Energía (MJ)	Emisión de CO <sub>2</sub>
PVC	34,5	0,022299	273,4	114,4
PVC biorientado	28,2	0,0201	232,5	99,1
PP corrugado	29,4	0,0999	200,5	62,5
PEHD corrugado	29,4	0,0999	220,5	65,5
Hormigón	402,3	0,1749	436,9	153,9

**Tabla 8.** Energía requerida y emisiones de CO<sub>2</sub> por cada 3m de tubería (Baldasano et al. 2005)

Cabe destacar que para la obtención de estos valores se ha considerado que el consumo energético (en términos de kWh/(kg de material)) del proceso de fabricación de las tuberías de hormigón a escala industrial es equiparable al necesario para la extrusión del PVC.

En la Tabla 9 se adjuntan los consumos de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> para conseguir un Kg de material (hormigón, PE, PP y PVC) según Specht y Lorenz (2008). En esta tabla se observan las siguientes diferencias respecto los anteriores datos:

- Los consumos de energía en el caso de los plásticos son parecidos a los del autor Milieudéfensie (1991) presentados en la tabla 7. En el caso de energía consumida por un Kg de hormigón, estos consumos son del orden de magnitud de los que presenta Baldasano (2005) mostrados en la tabla 2. En cualquier caso, lo que siempre sucede respecto el consumo de energía para obtener un Kg de hormigón es que este consumo es como mínimo del orden de 20 veces menos que para obtener un Kg de cualquier de los otros materiales plásticos.

- En el caso de emisiones de CO<sub>2</sub>, estas emisiones son muy parecidas a las establecidas por Baldasano excepto para el caso de hormigón, en que se considera que el consumo calculado por Baldasano es demasiado alto.

A la vista de los diferentes resultados obtenidos en función de los diferentes autores, se han establecido unos valores medios para poder realizar las valoraciones de las diferentes alternativas. Los valores considerados de consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> son los que se presentan en la tabla 10. En ella puede verse que, los datos obtenidos de emisiones son parecidos a los establecidos por Specht y Lorenz y por Milieudéfensie, mientras que en el caso de energía requerida se han considerado unos parámetros medios, siempre teniendo en cuenta que el consumo de energía por Kg de hormigón sea como mínimo 20 veces menor que el de los otros materiales. En el caso del PRFV, se ha considerado que los gastos energéticos y emisiones, pueden considerarse iguales a los del material PVC.

	Energía por kg de material (MJ/Kg material)	Emisiones de CO <sub>2</sub> por kg de material (Kg de CO <sub>2</sub> /Kg material)
Hormigón	0,687	0,0931
PP	68,25	1,73
PVC	60,25	2,45
PE (PN 10)	69,50	1,68

**Tabla 9.** Energía requerida y emisiones de Kg de CO<sub>2</sub> para obtener 1 kg de material (Specht y Lorenz, 2008)

	Energía por kg de material (MJ/Kg material)	Emisiones de CO <sub>2</sub> por kg de material (Kg de CO <sub>2</sub> /Kg material)
Hormigón	0,13	0,0931
PP	5,8	1,73
PVC	8,6	2,45
PE	12,26	1,68
PRFV	8,6	2,45

**Tabla 10.** Energía requerida y emisiones de Kg de CO<sub>2</sub> consideradas para valorar las alternativas de tuberías de saneamiento

Los resultados recopilados de los cálculos de energía requerida y Kg de CO<sub>2</sub> emitido para cada alternativa se presentan en la tabla 11.

Materiales	Peso (Kg/metro lineal)	Energía por peso (MJ/kg material)	Energía por metro (MJ/metro lineal)	Emisiones CO <sub>2</sub> (Kg CO <sub>2</sub> /Kg material)	Emisiones CO <sub>2</sub> (Kg CO <sub>2</sub> /metro lineal)
Hormigón masa clase R (400 mm), carga rotura 135	240,00	0,13	31,20	0,0931	22,34
Hormigón Armado (800 mm), clase IV	705,00	0,13	91,65	0,0931	65,64
Hormigón Armado (1200 mm), clase IV	1395,00	0,13	181,35	0,0931	129,87
Hormigón Armado (2000 mm), clase IV	3650,00	0,13	474,50	0,0931	339,82
Polipropileno estructurado (450 mm), SN 8	8,32	5,80	48,26	1,73	14,39
PVC Compacto (800 mm), SN 8	87,87	8,60	755,68	2,45	215,28
PE Estructurado (1200 mm), (est.) SN 8	67,50	12,26	827,55	1,68	113,4
PRFV (2000 mm inter), SN 10000 PN 10	383,66	8,60	3299,48	2,45	939,97

Tabla 11. Energía requerida y emisiones de CO<sub>2</sub> para las alternativas estudiadas

La forma de las funciones de valor es la misma para cada pareja de tuberías estudiadas del mismo diámetro, los valores de mínima y máxima satisfacción se modifican en función del mismo. Los valores de mínima satisfacción de la función ( $X_{\min}$ ) son un 20% mayores que el valor máximo de consumo de los datos de la tabla 11,

mientras que los valores de máxima satisfacción ( $X_{\max}$ ) están situados un 20 % por debajo de los valores mínimos de la misma tabla. En las figuras 3 y 4 se muestran las funciones de valor adoptadas para la energía requerida y las emisiones de CO<sub>2</sub> respectivamente para las tuberías de 1200mm de diámetro:

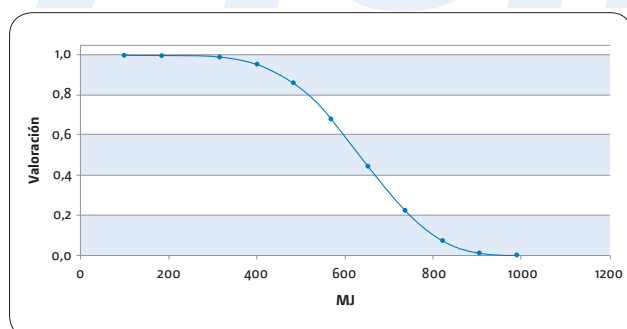


Figura 3. Función de valor, consumo de energía/ ml tubería 1200 mm  
 $X_{\min.} = 993$ ;  $X_{\max.} = 145$ ;  $C = 350$ ;  $K = 0,65$ ;  $p = 3$

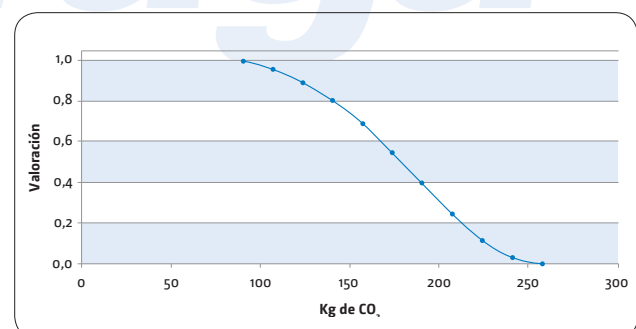


Figura 4. Función de valor, emisiones de CO<sub>2</sub>/ ml tubería 1200 mm  
 $X_{\min.} = 258,3$ ;  $X_{\max.} = 90,7$ ;  $C = 95$ ;  $K = 0,95$ ;  $p = 2$

En la tabla 12 se muestran las valoraciones de los indicadores energía requerida y emisiones de CO<sub>2</sub> para cada una de las alternativas. Como puede observarse, las alternativas de tuberías de hormigón tienen menos gasto energético. Por el contrario, para el indicador de emisiones de CO<sub>2</sub> quedan mejor valoradas las alternativas de tuberías plásticas.

Materiales	Energía (MJ)	Valoración indicador energía requerida	Emisiones CO <sub>2</sub> (Kg CO <sub>2</sub> /metro lineal)	Valoración indicador emisiones CO <sub>2</sub>
Hormigón masa clase R (400 mm), carga rotura 135	31,2	0,788	14,4	0,166
Polipropileno estructurado (450 mm), SN 8	48,26	0,066	22,3	0,817
Hormigón Armado (800 mm), clase IV	91,65	0,999	65,6	0,99
PVC Compacto (800 mm), SN 8	755,68	0,168	215,3	0,182
Hormigón Armado (1200 mm), clase IV	181,35	1	113,4	0,939
PE Estructurado (1200 mm), (est.) SN 8	827,55	0,066	129,9	0,869
Hormigón Armado (2000 mm), clase IV	474,5	1	339,8	0,998
PRFV (2000 mm inter), SN 10000 PN 10	3299,5	0,008	940,0	0,209

**Tabla 12.** Valoraciones de los indicadores energía requerida y consumo de CO<sub>2</sub>

### 3.4.2) Consumo de agua y sensibilidad medioambiental

Dada la dificultad que conlleva cuantificar objetivamente el consumo de agua y la sensibilidad medioambiental de la planta productora de tubos para llegar a las valoraciones se ha optado por trabajar con escenarios que varían entre 3 circunstancias:

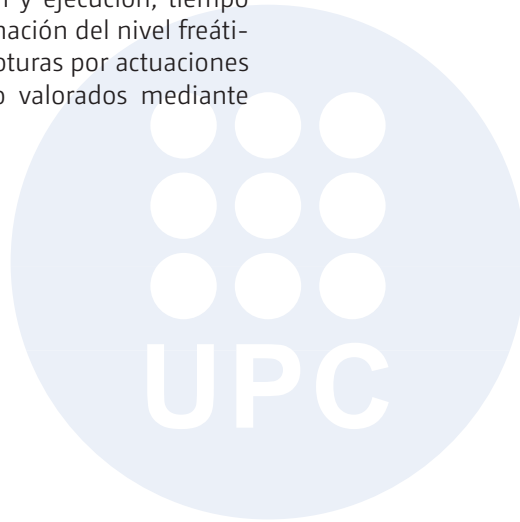
- Condiciones perfectas (Escenario A): El consumo de agua de red es nulo y la planta de tuberías dispone de la certificación ISO 14001. La valoración del indicador consumo de agua y sensibilidad medioambiental es 1 en todas las alternativas.
- Condiciones medias (Escenario B): El 50% del agua consumida es de lluvia o depurada, y la planta de tuberías realiza actuaciones con compromiso ambiental. La valoración del indicador consumo de agua es 0,5 para las alternativas de tuberías de hormigón y 0,75 para las plásticas. La valoración del indicador sensibilidad medioambiental es 0,5 en todas las alternativas.
- Condiciones malas (Escenario C): El consumo de agua es totalmente de red y la planta productora de tubos no realiza actuaciones con compromiso ambiental. La valoración del indicador consumo de agua es 0 para las alternativas de tuberías de hormigón y 0,5 para las plásticas. La valoración del indicador sensibilidad medioambiental es 0,5 en todas las alternativas.

Tanto para las tuberías de hormigón como las de plástico, el consumo nulo de agua de red recibe la valoración de 1. Pero, a diferencia de los hormigones, para fabricar plásticos no se utiliza agua. Esto implica que aún usando toda el agua proveniente de red, el consumo de agua en las fábricas de tuberías plásticas será mucho menor y por eso, en el peor de los escenarios la valoración

ción es 0,5. En el escenario medio la valoración es 0,75, es decir, la media entre 1 y 0,5.

### 3.5) Función de valor de los indicadores del requerimiento social

Los indicadores del requerimiento social: riesgos de accidentes laborales en producción y ejecución, tiempo afectación y reparación, contaminación del nivel freático y fiabilidad frente a posibles roturas por actuaciones ajenas (vulnerabilidad) han sido valorados mediante las encuestas a técnicos.

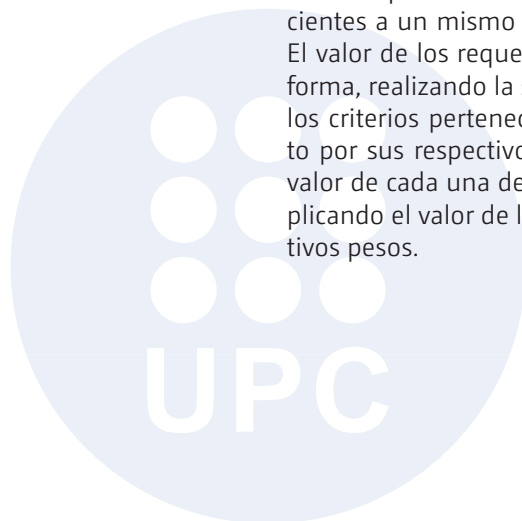


*Prefraga*®

#### 4) Valoraciones de las alternativas

En la tabla 13 se muestran las valoraciones de los indicadores en los 3 escenarios contemplados.

Para obtener el valor de los criterios se debe realizar la suma ponderada de todos los indicadores pertenecientes a un mismo criterio por sus respectivos pesos. El valor de los requerimientos se obtiene de la misma forma, realizando la suma ponderada de los valores de los criterios pertenecientes a un mismo requerimiento por sus respectivos pesos. Finalmente, el índice de valor de cada una de las alternativas se obtiene multiplicando el valor de los requerimientos por sus respectivos pesos.



***Prefragga***®

Alternativa Indicadores	Hormigón masa clase R (400 mm), carga rotura 135	Polipropileno estructurado (450 mm), SN 8	Hormigón Armado (800 mm), clase IV	PVC compacto (800 mm), SN 8	Hormigón Armado (1200 mm), clase IV	PE Estructurado (1200 mm), (est.) SN 8	Hormigón Armado (2000 mm), clase IV	PRFV (2000 mm inter), SN 10000 PN 10
Degradación en la superficie <sup>1</sup>	0,22	0,73	0,27	0,67	0,28	0,66	0,16	0,70
Riesgos en las uniones entre tubos y con otros elementos <sup>1</sup>	0,89	0,39	0,80	0,28	0,67	0,20	0,58	0,64
Capacidad mecánica añadida (Kg/m <sup>2</sup> )	0,92	0,22	1,00	0,37	1,00	0,00	1,00	0,54
Coste suministro de colocación (€)	0,99	0,83	0,93	0,77	0,99	0,73	0,99	0,00
Plazo ejecución <sup>1</sup>	0,67	0,94	0,47	0,73	0,28	0,67	0,13	0,23
Emisiones de CO <sub>2</sub>	0,17	0,82	0,99	0,18	0,94	0,87	1,00	0,21
Consumos de materias primas. Tipo material relleno	1,00	1,00	1,00	0,67	1,00	0,00	1,00	0,67
Consumos de agua (% reciclado) <sup>2</sup>	0/0,5/1	0,5/0,75/1	0/0,5/1	0,5/0,75/1	0/0,5/1	0,5/0,75/1	0/0,5/1	0,5/0,75/1
Energía requerida	0,79	0,07	1,00	0,17	1,00	0,07	1,00	0,01
Sensibilidad medioambiental de la planta productora de tubos <sup>2</sup>	0/0,5/1	0/0,5/1	0/0,5/1	0/0,5/1	0/0,5/1	0/0,5/1	0/0,5/1	0/0,5/1
Riesgos accidentes laborales en producción y ejecución <sup>1</sup>	0,64	0,94	0,52	0,73	0,19	0,61	0,03	0,31
Tiempo afectación y reparación <sup>1</sup>	0,67	0,94	0,47	0,73	0,28	0,67	0,13	0,23
Contaminación nivel freático <sup>1</sup>	0,68	0,55	0,61	0,48	0,48	0,38	0,38	0,27
Fiabilidad frente a posibles roturas por actuaciones ajenas – Vulnerabilidad <sup>1</sup>	0,69	0,16	0,75	0,22	0,69	0,09	0,64	0,31

**Tabla 13.** Valoraciones de los indicadores en los 3 escenarios contemplados. Notas: 1) La valoración se refiere a las respuestas de la encuesta realizada a los técnicos (ver apartado 4.2.1). 2) Las valoraciones dependen del escenario escogido: condiciones malas / medias / perfectas respectivamente

## 5) Análisis a largo plazo

Los materiales plásticos sufren una disminución del módulo de elasticidad al estar sometidos a cargas mantenidas. Este fenómeno es debido a la fluencia, y se traduce en una disminución de la rigidez y por lo tanto de las prestaciones estructurales de las tuberías enterradas con el paso del tiempo. Debido a que las prestaciones de estas tuberías varían en función del instante de tiempo, se ha querido presentar una formulación para poder valorar la sostenibilidad de las tuberías plásticas en cualquier instante de tiempo.

La rigidez circunferencial específica es el parámetro que nos permitirá saber cuál es la resistencia del tubo de saneamiento frente posibles cargas exteriores (véase ecuación 3):

$$Rigidez\ circunferencial\ específica = \frac{EI}{D_m^3}$$

Ecuación 3

Donde:

E: Módulo de deformación del material.

$D_m$ : Diámetro medio de la tubería.

I: Inercia de la pared del tubo.

La rigidez circunferencial específica inicial (o rigidez anular) de los tubos plásticos es aproximadamente el valor de SN dado por el fabricante. Sin embargo este valor es sólo el correspondiente al momento inicial del tubo antes de ser sometido a esfuerzos, ya que con el tiempo la rigidez del tubo disminuye si sobre él actúan cargas tanto de tierras como de tráfico u otro tipo, como así ocurre en la realidad. Esto es debido a una caída

del módulo elástico con el tiempo, lo cual a su vez se traduce en una pérdida de la capacidad resistente del material plástico.

Además, la caída del módulo de elasticidad no es lineal con el tiempo, sino que sigue unas curvas de regresión, características de cada tipo de plástico, que representan pérdidas muy bruscas al principio (entre las 0 y las 2000 horas) y más suaves después, de forma que el valor del módulo de elasticidad se considera casi estable a los 50 años. En la tabla 14 se muestran los diferentes valores del módulo de elasticidad de materiales plásticos según la norma alemana DIN 16961-2, (2000).

Los valores del módulo de elasticidad según el tipo de material que se estudie son los que se encuentran en la tabla 14. Como se observa, la caída es muy brusca al inicio y se suaviza al cabo de 3 meses. El comportamiento del Poliester reforzado con fibra de vidrio (PRFV) es muy parecido al PVC.

Es importante conocer con exactitud estos valores y sus consecuencias. A nivel práctico el significado de los valores de la tabla 14 es el siguiente: si se compra una tubería de Polietileno (PE) con un SN 8 inicial significa que al cabo de 2,7 meses en lugar de tener una rigidez circunferencial de valor 8 se pasa a tener una rigidez de 2,5 y al cabo de 50 años será de 1,5. Esto significa, que la pérdida de resistencia de la tubería es muy significativa y en este tipo de tuberías es muy importante conocer cuál tiene que ser la vida útil y los condicionantes mínimos durante este período. Puede suceder que inicialmente la tubería tenga un comportamiento idóneo pero al cabo de los años no se cumplan los condicionantes mínimos de proyecto.

Tiempo	0	2,7 meses	50 años
Valor E PVC <sup>1</sup> – PRFV <sup>2</sup> (MPa)	3600	2300	1750
Valor E PE <sup>3</sup> (MPa)	800	250	150
Valor E PP <sup>4</sup> (MPa)	800	210	120

<sup>1</sup> Policloruro de vinilo

<sup>2</sup> Poliéster reforzado con fibra

<sup>3</sup> Polietileno

<sup>4</sup> Polipropileno

Tabla 14. Valores módulo elasticidad según DIN 16961-2, 2000



En la tabla 15 se muestran los valores de  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  y  $K_4$  que permiten ajustar la curva de la ecuación 4 a los valores del módulo de elasticidad según los parámetros DIN 16961-2, 2000.

$$E(t) = K_1 + K_2 e^{-k_3 t^{k_4}}$$

**Ecuación 4**

En todas las alternativas analizadas de tubos de saneamiento se ha realizado un cálculo estructural exhaustivo considerando las solicitaciones establecidas en la normativa ATV-127. En este cálculo, a través de un programa informático desarrollado específicamente para este estudio, se obtiene para cada una de las alternativas el material de relleno necesario. Conjuntamente, también se obtiene el módulo de elasticidad mínimo en el caso de tuberías plásticas o la clase necesaria de tubería en el caso de tuberías de hormigón.

La obtención de un módulo de elasticidad mínimo permite saber en qué momento la tubería de material plástico deja de tener una resistencia suficiente según normativa. Este hecho, conduce a que la valoración de la tubería plástica no pueda ser la misma en el momento inicial que transcurrido cierto tiempo.

Para la valoración del grado de sostenibilidad de las tuberías de saneamiento a largo plazo, se realiza una formulación similar a la expuesta en el Anejo 13 de

la normativa EHE, 2008: Índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad. La gran diferencia en la formulación usada, es que en las estructuras de hormigón, sí se define el concepto de vida útil, cosa que no sucede en las tuberías de saneamiento. Por esta razón, el factor corrector que se usará no será función de la vida útil sino del módulo de elasticidad mínimo necesario. El coeficiente  $b$  corrector que se va a considerar se calculará según ecuación 5:

$$b = \frac{E_{real}}{E_{min, según condicionantes}} \leq 1$$

**Ecuación 5**

Donde:

$E_{real}$  = Módulo de elasticidad real de la tubería en el momento  $x$ .

$E_{min.}$  = Módulo de elasticidad mínimo según condicionantes de proyecto y normativa (ATV-127).

El valor del grado de sostenibilidad de las tuberías de saneamiento a largo plazo será el valor inicial del grado de sostenibilidad multiplicado por el coeficiente  $b$ , según muestra la ecuación 6:

$$V_{tiempo x} = b V_{to}$$

**Ecuación 6**

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$
PVC – PRFV	1732,5	1867,5	1,7322	0,2535
PE	148,5	651,5	2,474	0,2296
PP	118	682	2,628	0,204

**Tabla 15.** Constantes ecuación 2; pérdida módulo elástico según material

En la tabla 16 se muestran los valores mínimos de E (módulo de elasticidad) y las valoraciones a largo plazo para las 4 alternativas de tuberías plásticas. En la figura 5 se observan los valores de b en función de cuál sea el instante de tiempo. Como se puede observar, está caída es más brusca en los primeros años y más suave en los últimos, en concordancia con la evolución de la caída del módulo elástico (véase tabla 14). En el gráfico 5 se adjunta un comparativo del grado de

sostenibilidad de todas las tuberías para un escenario de condiciones medias, en este se observa como en la mayoría de alternativas de tuberías de plástico la valoración va disminuyendo mientras que en el caso de tuberías de hormigón se mantiene. De hecho, el hormigón es un material que con el paso del tiempo, si no existen problemas de durabilidad, aumenta su resistencia, justo al contrario de lo que sucede en las tuberías plásticas.

Indicador Alternativa	Valor mínimo de E (N/mm <sup>2</sup> )	Tiempo T <sub>0</sub> en que E <sub>real</sub> < E <sub>min</sub>	Cálculo b para valores de T > T <sub>0</sub>	Cálculo de b a 25 años y 50 años
Polipropileno estructurado 450 mm.	137,95	3,5 años	$\frac{118,8 + 681,2e^{(2,755t^{0,2313})}}{137,95}$	0,882 (25 años) 0,8699 (50 años)
PVC compacto SN 8	1.619,15	Infinito	1	1 (25 años) 1 (50 años)
PE estructurado 1200 mm. (est.) SN 8	244,58	4 meses	$\frac{148,5 + 651,5e^{(2,474t^{0,2296})}}{244,58}$	0,622 (25 años) 0,613 (50 años)
PRFV (2000 mm. Int.) Tipo SN 10000 PN 10	1700,71	Infinito	1	1 (25 años) 1 (50 años)

Tabla 16. Valoración a largo plazo de las tuberías plásticas

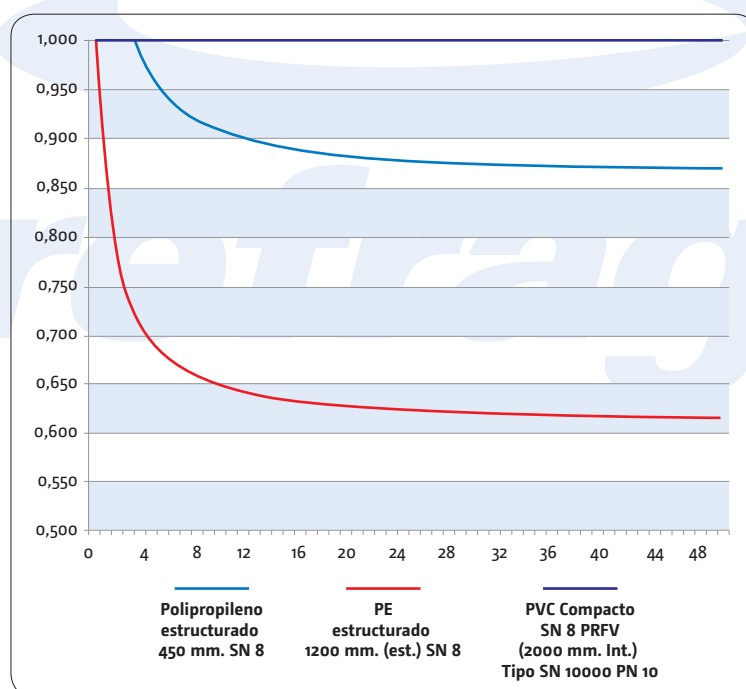


Figura 5. Valor de b para diferentes alternativas de tuberías plásticas en función del tiempo en años

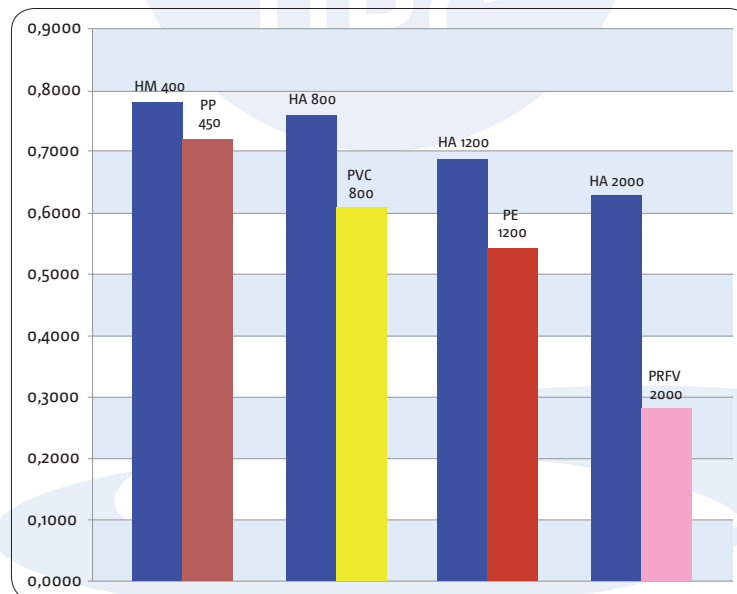
## 6) Resultados obtenidos

Fruto de los diferentes seminarios realizados se obtienen los árboles de decisión definitivos.

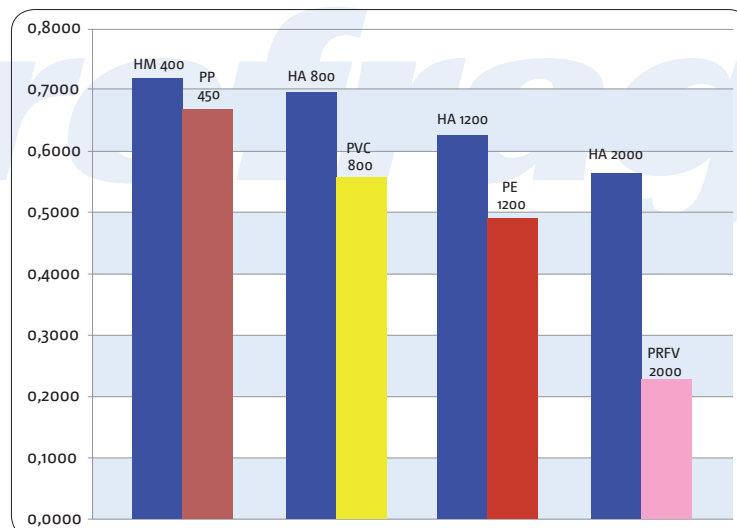
En este resumen del estudio se presentan los árboles más representativos, considerados en los dos escenarios más extremos, condiciones perfectas y condiciones malas, y diferenciados por encontrarse situados en un entorno urbano o bien en un entorno rural.

Para facilitar la comparación de las alternativas de un mismo diámetro, las barras del gráfico están agrupadas por 4 pares. La primera barra de cada par representa la tubería de hormigón, la segunda barra indica la tubería de plástico. La primera pareja de barras se refiere al diámetro de 400 mm. La última pareja se refiere al diámetro de 2000 mm.

### 6.1) Árbol de toma de decisión en zona urbana



**Gráfico 1.** Valoración global del grado de sostenibilidad en diferentes alternativas de tuberías de saneamiento – Condiciones perfectas – Zona urbana



**Gráfico 2.** Valoración global del grado de sostenibilidad en diferentes alternativas de tuberías de saneamiento – Condiciones malas – Zona urbana

6.2) Árbol de toma de decisión en zona rural

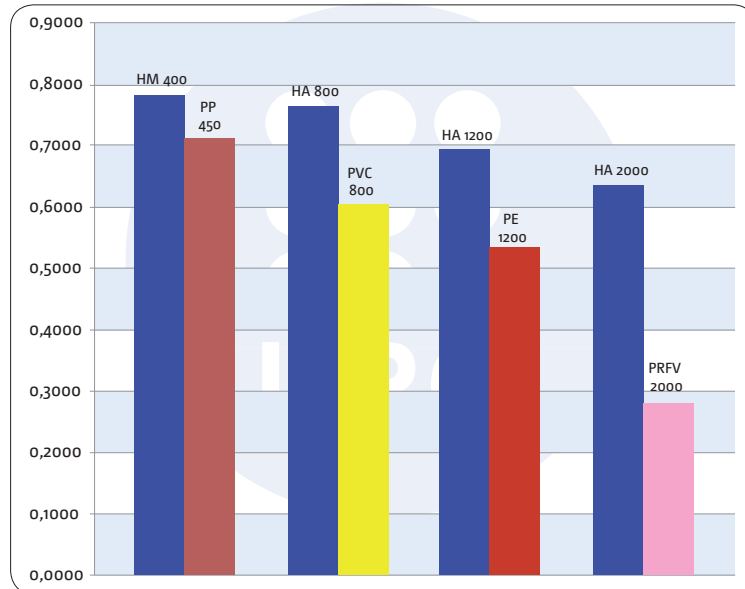


Gráfico 3. Valoración global del grado de sostenibilidad en diferentes alternativas de tuberías de saneamiento – Condiciones perfectas – Zona rural

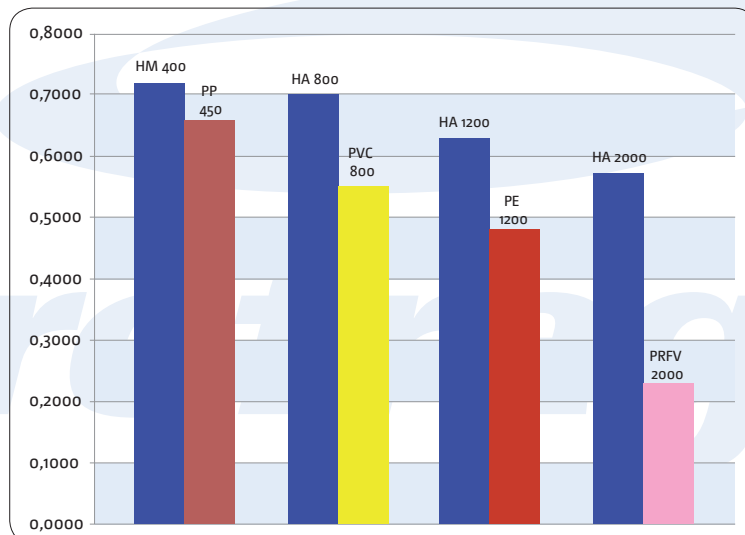


Gráfico 4. Valoración global del grado de sostenibilidad en diferentes alternativas de tuberías de saneamiento – Condiciones malas – Zona rural

### 6.3) Valoración global del grado de sostenibilidad a largo plazo

Como se ha explicado en el capítulo 6, la disminución de resistencia que experimentan las tuberías de plástico a lo largo del tiempo al estar sometidas a cargas mantenidas supone una disminución del grado de sostenibilidad de algunas de las tuberías fabricadas con materiales plásticos. En el gráfico 5 se muestra la evolución del grado de sostenibilidad de todas las alternativas a lo largo del tiempo, observándose la considerable disminución de dicho índice para las alternativas de PE estructurado 1200mm SN8 y Polipropileno estructurado 450mm SN8.

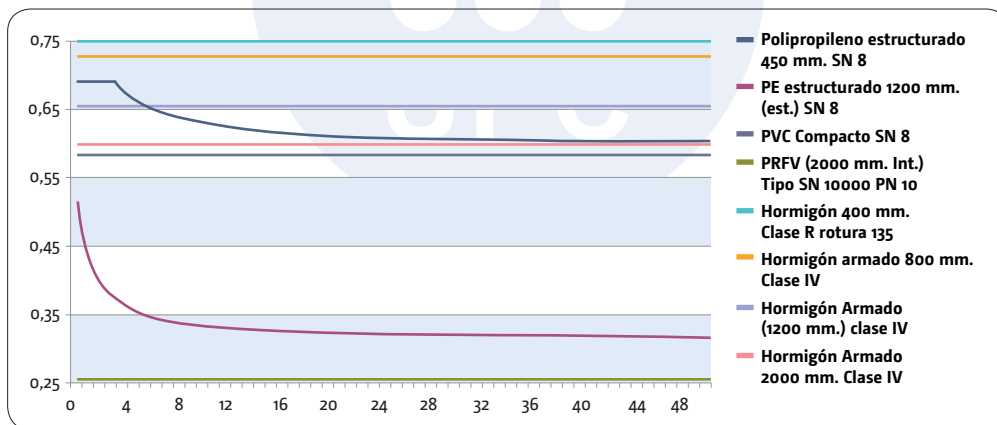


Gráfico 5. Grado de sostenibilidad de las tuberías de saneamiento en función del tiempo en condiciones medias

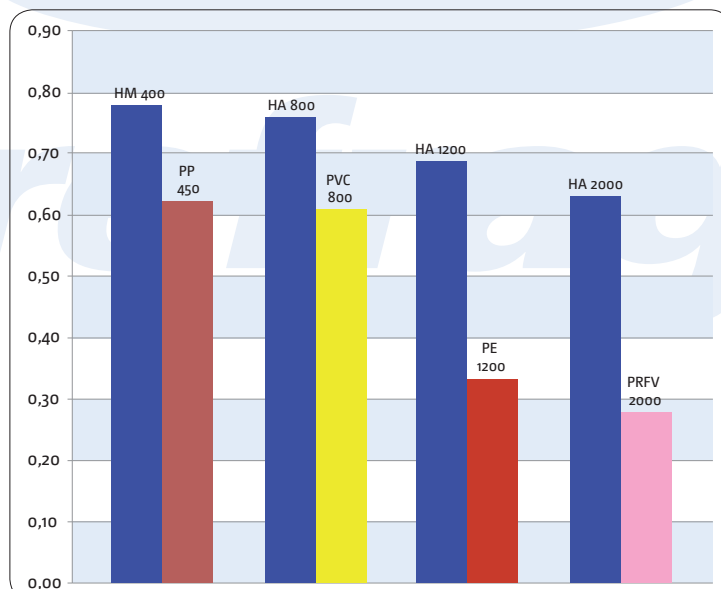


Gráfico 6. Valoración global del grado de sostenibilidad en diferentes alternativas de tuberías de saneamiento a los 10 años. Condiciones medias

### 7) Conclusiones

#### 7.1) Generales:

El método utilizado para valorar el grado de sostenibilidad de las tuberías de saneamiento imprime al estudio gran objetividad y claridad de los procedimientos, lo que se traduce en una mayor legitimidad de la valoración.

Para la realización del árbol de toma de decisión se ha contado con la participación de técnicos especialistas en hidráulica de las administraciones de Aragón y Cataluña, por lo que los aspectos valorados y los pesos asociados han sido fijados por la administración.

La imbricación que ha tenido lugar a lo largo de todo el estudio entre el equipo humano de Prefraga y el equipo investigador de la UPC ha permitido dotar al estudio de un carácter práctico, así como de objetividad y rigor en la aplicación de la metodología utilizada para cuantificar el grado de sostenibilidad de las tuberías.

#### 7.2) A nivel de alternativas:

Cuando los diámetros son pequeños (400 mm), las tuberías con menor resistencia pueden llegar a funcionar de forma muy correcta. Debido a esto, las valoraciones de alternativas de hormigón o de plástico son muy parecidas.

Sin embargo, para diámetros mayores las tuberías de hormigón tienen una mejor valoración. Si se escogieran tuberías plásticas con un SN 16 (mayor resistencia) seguramente quedarían mejor valorados en aspectos funcionales y otros, pero por contra perderían cierta valoración en indicadores del tipo económico. Los resultados obtenidos indican que para diámetros superiores a los 400 mm. las alternativas de hormigón son por el momento las más sostenibles.

Debe tenerse también en cuenta la pérdida del módulo de elasticidad que experimentan con el tiempo las tuberías de plástico al estar sometidas a cargas mantenidas. Este fenómeno supone una disminución de la valoración del grado de sostenibilidad del 12 y del 38% a 25 años para las alternativas de Polipropileno estructurado (450mm) y de Polietileno estructurado (1200mm) respectivamente.

#### 7.3) A nivel de indicadores:

**Capacidad hidráulica.** De un estudio de la Universidad Politécnica de Valencia se desprende que el coeficiente de rugosidad de las paredes de la tubería no depende de la naturaleza del material, sino de otros factores como:

- Los puntos de la red que ocasionan pérdidas de carga localizada, tales como pozos de registro, cambios de dirección, acometidas, etc.

- La naturaleza del efluente, la cantidad de materia sólida transportada y posibles depósitos.
- La modificación de la rugosidad absoluta de los tubos en servicio por la creación de un biofilm, que recubre la superficie interior de los tubos a los pocos días de uso.

Es por este motivo que no se ha considerado el aspecto hidráulico, por no ser un indicador discriminante entre las diferentes alternativas.

Aún así, en las tuberías plásticas se produce un fenómeno denominado corrugation growth. Este efecto se produce en tuberías estructuradas corrugadas, y es debido a la deformación plástica que tiene lugar en la pared interior de la tubería debido a la transmisión de esfuerzos de la pared corrugada exterior a la superficie lisa interior. Este fenómeno se traduce en una reducción de la capacidad hidráulica de la tubería de plástico a largo plazo, puesto que se producen ondulaciones en el interior.

**Riesgos en las uniones.** Las tuberías plásticas tienen un módulo de deformación mucho menor que las tuberías de hormigón. Es por este motivo que las deformaciones en este tipo de tubos son mayores, y por lo tanto el riesgo de que existan problemas en la zona de encaje entre las distintas uniones es muchísimo mayor aún teniendo un menor número de uniones por Km. de tubería.

**Capacidad mecánica añadida.** Las tuberías de hormigón son las que ofrecen una mayor resistencia. Este hecho hace que, en el caso de que existiera una sobrecarga puntual no deseada, la tubería pudiese resistir sin problemas. Las tuberías plásticas tienen una resistencia menor, que además depende en gran medida del tipo de compactación, el tipo de terreno y el tipo de relleno. Esto conduce a que, en cualquier punto en que las condiciones del terreno no sean óptimas, la tubería no tendría suficiente capacidad para resistir las acciones que la solicitan.

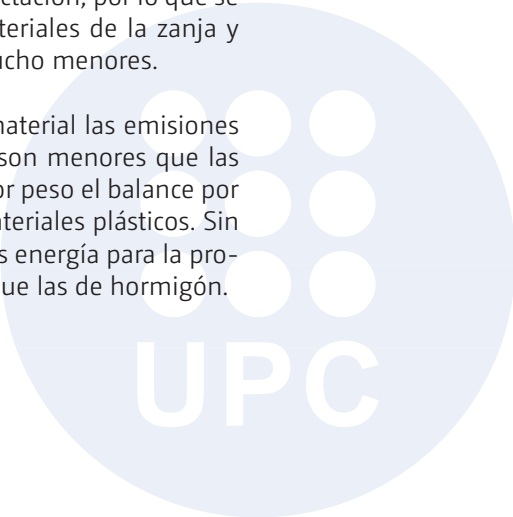
**Coste.** El tipo de tubería que queda peor valorada es la de PRFV. Esta tubería está diseñada para funcionar a presión y su coste es mucho mayor que el de las otras alternativas. Este factor es muy importante y hace que este tipo de tubería no tenga una valoración alta. En las otras alternativas, aunque la diferencia es menor, las tuberías de hormigón acaban teniendo un coste algo menor.

**Plazo de ejecución y tiempo de reparación.** Las tuberías plásticas son las que quedan mejor valoradas debido a que los pesos menores y las longitudes de cada tramo mayores, por lo que el tiempo de colocación disminuye. En cualquier caso, debe tenerse en cuenta que

si la tubería plástica, debido a factores estructurales, requiere de una minuciosa compactación el plazo de ejecución aumentaría considerablemente.

**Consumo de materias primas.** La resistencia de las tuberías de hormigón no depende prácticamente ni del material de relleno ni de la compactación, por lo que se pueden aprovechar todos los materiales de la zanja y por lo tanto los consumos son mucho menores.

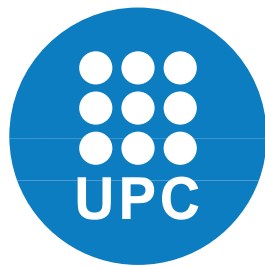
**Emisiones y energía.** Por Kg de material las emisiones para la producción de hormigón son menores que las de plástico, pero debido a su mayor peso el balance por metro lineal es favorable a los materiales plásticos. Sin embargo se precisa de mucha más energía para la producción de las tuberías plásticas que las de hormigón.



*Prefraga*®







***Prefraga***<sup>®</sup>







Ctra. N-II, km. 443. 22520 FRAGA (Huesca)  
Tel. 974 47 26 45 | Fax 974 47 27 75  
[www.prefraga.es](http://www.prefraga.es)  
[info@prefraga.es](mailto:info@prefraga.es)