

 <p>UNIVERSIDADE DA CORUÑA</p> <p>EPS FERROL</p>	<p>MODELO INTEGRADO DE DIMENSIONAMIENTO Y EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE UNA VIGA ISOSTÁTICA DE HORMIGÓN ARMADO</p>	<p><u>Trabajo Fin de Grado</u></p> <p>Alumno: José Gómez Roibás</p>
---	---	---

ANEJO 2: SOSTENIBILIDAD

 <p>UNIVERSIDADE DA CORUÑA</p> <p>EPS FERROL</p>	<p>MODELO INTEGRADO DE DIMENSIONAMIENTO Y EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE UNA VIGA ISOSTÁTICA DE HORMIGÓN ARMADO</p>	<p><u>Trabajo Fin de Grado</u></p> <p>Alumno: José Gómez Roibás</p>
---	---	---

Índice.-

1. Elección de requerimientos, criterios e indicadores	3
2. Estimación de valores de los indicadores y establecimiento de las funciones de valor.....	4
2.1. Indicadores económicos.....	4
2.1.1. Costes directos.....	4
2.2. Indicadores medioambientales.....	7
2.2.1. Consumo de recursos.....	8
2.2.2. Impactos sobre el medio	11
2.2.3. Medidas correctoras	15
2.2.4. Certificaciones.....	16
2.3. Indicadores sociales.....	17
2.3.1. Creación de empleo.....	18
2.3.2. Seguridad y Salud	19
2.3.3. Consumo local	20
2.3.4. Estética	21
2.3.5. Información al ciudadano.....	22
3. Establecimiento de los pesos	25
4. Análisis	27

 <p>UNIVERSIDADE DA CORUÑA</p> <p>EPS FERROL</p>	<p>MODELO INTEGRADO DE DIMENSIONAMIENTO Y EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE UNA VIGA ISOSTÁTICA DE HORMIGÓN ARMADO</p>	<p><u>Trabajo Fin de Grado</u></p> <p>Alumno: José Gómez Roibás</p>
---	--	--

1. Elección de requerimientos, criterios e indicadores


Para comenzar a aplicar la metodología y usar la herramienta MIVES, debemos definir primero el árbol de requerimientos. Para tener una amplia visión de los aspectos en los que pueda influir la elección de un material sobre otro o el dimensionamiento de la viga, se ha dividido el árbol en 3 requerimientos básicos: económico, medioambiental y social.

El requerimiento económico nos dará una idea de los costes de la viga en su ciclo de vida, incluyendo su construcción y mantenimiento. El coste siempre es un aspecto importante, y más hoy en día, en la actual situación económica. Más adelante se explicará con detalle cómo se han tenido en cuenta los indicadores de coste de construcción y mantenimiento.

El medioambiental es también un requerimiento de gran importancia. Debemos elegir la opción que menos perjudique al medio ambiente y que cumpla los restantes requisitos de diseño. Así como el requerimiento económico lo enmarcábamos en una situación de crisis económica, para el medioambiental se debe ser consciente de la situación actual del planeta, con un importante problema de cambio climático reportado por la literatura sobre el tema, recursos cuyas reservas son cada vez menores y en algunos casos comienzan a agotarse, y condicionantes legales en cuanto a vertidos cada vez más restrictivos. Este requerimiento se ha dividido en consumo energético y de materiales e impacto directo sobre el medio. Entre los impactos se incluyen: calentamiento global, potencial de acidificación y formación fotoquímica de ozono. Estos indicadores han sido obtenidos a partir de los boletines FIB números 67 y 71. La FIB (*Federation Internationale du Beton*) es una asociación comprometida con el avance en el rendimiento técnico, económico, estético y ambiental de las estructuras de hormigón en todo el mundo.

De acuerdo con la definición de desarrollo sostenible, el requerimiento social es también esencial. Este es sin duda el aspecto más difícil de evaluar, debido a la dificultad de encontrar datos. Se han tenido en cuenta aspectos tales como la creación de empleo y su temporalidad, la seguridad y salud en el trabajo, el consumo local, la estética de la viga o la información al ciudadano sobre el proyecto.

Ha habido otros indicadores que no se han usado, bien por no servir para establecer diferencias, bien por no ser aplicables. Por ejemplo, se pudo haber tenido en cuenta un cuarto requerimiento, de tipo funcional. La flexibilidad o

 <p>UNIVERSIDADE DA CORUÑA</p> <p>EPS FERROL</p>	<p>MODELO INTEGRADO DE DIMENSIONAMIENTO Y EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE UNA VIGA ISOSTÁTICA DE HORMIGÓN ARMADO</p>	<p><u>Trabajo Fin de Grado</u></p> <p>Alumno: José Gómez Roibás</p>
---	--	--

facilidad para realizar cambios en la estructura podría ser un indicador funcional para comparar estructuras de diferentes materiales (la estructura de acero aporta más facilidad que otros materiales), pero aquí no tenía sentido su uso, debido a la utilización de un mismo material para todas las vigas.

2. Estimación de valores de los indicadores y establecimiento de las funciones de valor

A continuación veremos una descripción detallada de cómo han sido cuantificados los indicadores, en qué unidades y el por qué de la forma de su función de valor.


En este TFG, a efectos de los valores máximos y mínimos de los indicadores de sostenibilidad, se han supuesto vigas isostáticas bi-apoyadas con sección rectangular con luces estructurales más frecuentes de entre 4 y 10 metros, aunque el usuario puede introducir luces fuera de este rango de valores. Se ha considerado que en algunos casos (p. ej., de irregularidades de las dimensiones en planta de la estructura) la luz puede ser menor, por ejemplo bajando hasta los 2 metros, o menos. La luz también podría ser mayor de 10 metros, si bien en este caso existen limitaciones propias del material, que normalmente no va a permitir vigas de este tipo que vayan más allá de los 15 metros de luz, y que por encima de los 10 metros de luz puede tener problemas, si las cargas son importantes.

A su vez, se ha supuesto una sección mínima de la viga (bxh) de 25x15 cm (viga plana para un forjado de 15 cm de canto, con sección de 0,0375 m²) y una sección máxima de 50x150 cm (superficie de 0,75 m²). No obstante, la hoja electrónica permite introducir otras secciones de menor y mayor tamaño, y calcula tanto el armado como el índice de sostenibilidad.

2.1. Indicadores económicos.

2.1.1. Costes directos.

Como ya se ha especificado anteriormente, los indicadores que se han tenido en cuenta para evaluar el índice de sostenibilidad de la viga han sido el coste de construcción y, con mucho menor peso, el coste de mantenimiento a lo largo del ciclo de vida, en función de lo observado en las bases de precios españolas,

 <p>UNIVERSIDADE DA CORUÑA</p> <p>EPS FERROL</p>	<p style="text-align: center;">MODELO INTEGRADO DE DIMENSIONAMIENTO Y EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE UNA VIGA ISOSTÁTICA DE HORMIGÓN ARMADO</p>	<p style="text-align: center;"><u>Trabajo Fin de Grado</u></p> <p>Alumno: José Gómez Roibás</p>
---	--	--

y en particular en la de CYPE, y teniendo en cuenta duraciones de 50 a 75 años de ciclo de vida de la viga.

Coste de construcción

- Estima los costes generados en la actividad de construcción de la viga, en función de lo observado en bases de datos de precios españolas.
- Si se hiciera una medición de los costes en €/m³ de viga tendríamos los valores de la Tabla A2.1, que dependen de los materiales y procesos constructivos usados y de lo que se afine en el cálculo.

<u>Máx</u>	<u>Mín</u>
<u>313,18</u>	<u>255,72</u>

Tabla A2.1. Valores máx. y mín. del coste de construcción por m³


Lo que se va a comparar normalmente son vigas con la misma luz. Por ello en este indicador, como en el caso de casi todos los demás que sean cuantitativos continuos, lo que se ha hecho es estimar el coste por metro lineal de viga, que es lo que en realidad interesa. Tanto aquí como en los siguientes indicadores en los que se utilice Datos/m³ (por m³ de viga) y Datos/m (por m lineal de viga) se ha hecho la siguiente transformación para pasar del dato por volumen de viga al dato por metro lineal de viga:

- $\text{DatoMáx}/m = \text{DatoMáx}/m^3 \cdot (b \cdot h)_{\text{máx}}$
- $\text{DatoMín}/m = \text{DatoMín}/m^3 \cdot (b \cdot h)_{\text{mín}}$

Siendo:

- DatoMáx/m: valor máximo del intervalo por metro lineal de viga.
- DatoMín/m: valor mínimo del intervalo por metro lineal de viga.
- DatoMáx/m³: valor máximo del intervalo por metro cúbico de viga.
- DatoMín/m³: valor mínimo del intervalo por metro cúbico de viga.
- $(b \cdot h)_{\text{máx}}$: dimensiones máximas (ancho, canto) de la viga (ya comentadas).
- $(b \cdot h)_{\text{mín}}$: dimensiones mínimas (ancho, canto) de la viga (ya comentadas).

Lo anterior no impide que el usuario pueda introducir valores fuera de los rangos establecidos, en cuyo caso la función de valor, dependiendo de si es creciente o decreciente, tomará valor mínimo o máximo (0 o 1).

 <p>UNIVERSIDADE DA CORUÑA</p> <p>EPS FERROL</p>	<p align="center">MODELO INTEGRADO DE DIMENSIONAMIENTO Y EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE UNA VIGA ISOSTÁTICA DE HORMIGÓN ARMADO</p>	<p align="center"><u>Trabajo Fin de Grado</u></p> <p>Alumno: José Gómez Roibás</p>
---	---	---

Una vez hechas esas transformaciones, los valores máximo y mínimo por metro de viga se reflejan en la Tabla A2.2.

<u>Máx</u>	<u>Mín</u>	<u>Tipo</u>
234,49	9,59	Lineal Decreciente

Tabla A2.2. Intervalos función de valor del coste de construcción por m

- La función de valor elegida es lineal decreciente, tal como refleja la Figura A2.1. No se ha considerado necesario establecer no linealidades para favorecer o “castigar” determinados valores del coste de inversión. Simplemente, a menor coste mayor satisfacción, de forma lineal. La Figura A2.1 refleja esta función de valor.

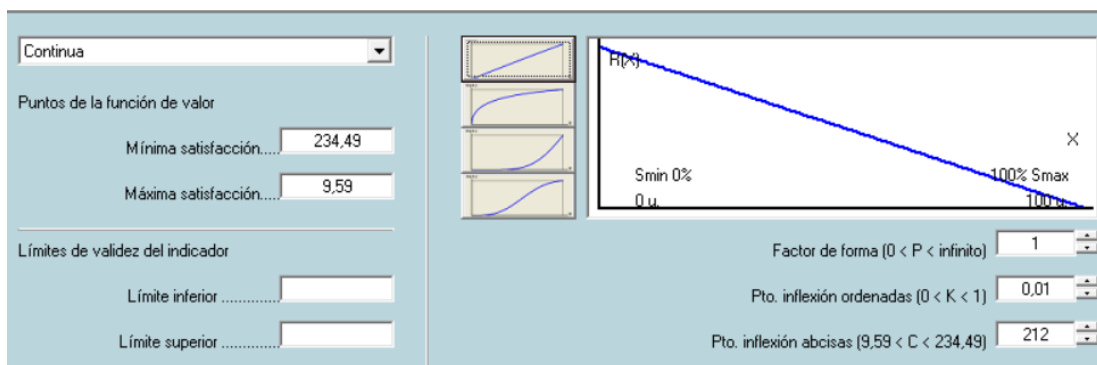



Figura A2.1. Función de valor del coste de construcción

Coste de mantenimiento

- Mide los costes generados en la actividad de mantenimiento de la viga cada 10 años. A igualdad de otros aspectos, se considera que si se trata de una viga ejecutada in situ tendremos un coste de mantenimiento superior que si se trata de una viga prefabricada.
- El mayor coste de mantenimiento será para una viga de las máximas dimensiones y ejecutada in situ. Consecuentemente, el menor coste de mantenimiento será para una viga de las menores dimensiones y prefabricada.
- En la Tabla A2.3 se indican los costes de mantenimiento decenal por metro cúbico de viga, en función de lo observado en bases de datos de precios, españolas.

 <p>UNIVERSIDADE DA CORUÑA</p> <p>EPS FERROL</p>	<p>MODELO INTEGRADO DE DIMENSIONAMIENTO Y EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE UNA VIGA ISOSTÁTICA DE HORMIGÓN ARMADO</p>	<p><u>Trabajo Fin de Grado</u></p> <p>Alumno: José Gómez Roibás</p>
---	--	--

<u>Máx</u>	<u>Mín</u>
<u>26</u>	<u>9</u>

Tabla A2.3. Intervalos del coste de mantenimiento por m³

- Para comparar las diferentes vigas vamos a utilizar datos de mantenimiento decenal por m lineal de viga, para lo cual tenemos los valores de la Tabla A2.4.

<u>Máx</u>	<u>Mín</u>	<u>Tipo</u>
<u>19,5</u>	<u>0,337</u>	<u>Lineal Decreciente</u>

Tabla A2.4. Intervalos función de valor del coste de mantenimiento

- La función de valor elegida es lineal decreciente (Figura A2.2.).

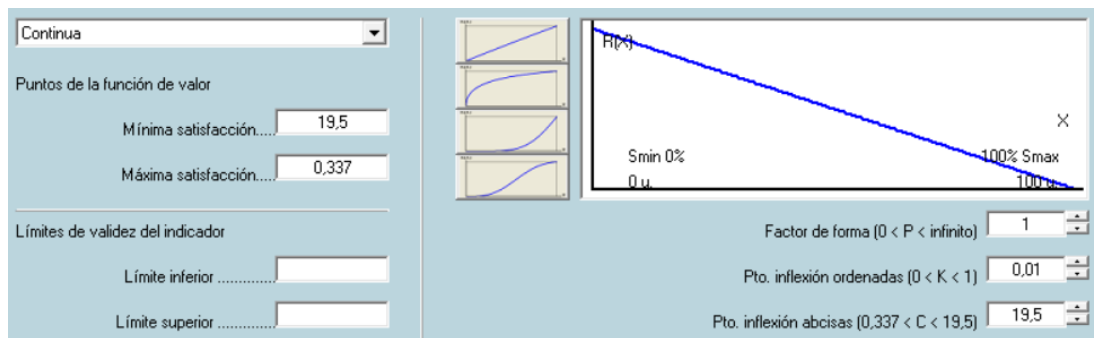



Figura A2.2. Función de valor del coste de mantenimiento.

2.2. Indicadores medioambientales.

Cabe resaltar que los indicadores de consumo de energía primaria, consumo de agua, consumo de materias primas, calentamiento global, potencial de acidificación y formación fotoquímica de ozono se verán favorecidos por la utilización de acero reciclable, que es el que se ha considerado. En la obtención del acero primario se utiliza una cantidad mucho mayor de recursos, y dicho acero no se usa ni en armado de estructuras de hormigón, ni en estructuras metálicas. En función de utilizar acero reciclado o acero primario se tienen unas emisiones o consumos muy diferentes, pero como dicho acero no es de uso en nuestro caso, no se ha incluido en el modelo que recoge la hoja electrónica. Para los valores de estos indicadores se han utilizados datos del boletín FIB-71 (FIB 2013). En la literatura existente no se han encontrado los valores que en España toman todos y cada uno de los

 <p>UNIVERSIDADE DA CORUÑA</p> <p>EPS FERROL</p>	<p>MODELO INTEGRADO DE DIMENSIONAMIENTO Y EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE UNA VIGA ISOSTÁTICA DE HORMIGÓN ARMADO</p>	<p><u>Trabajo Fin de Grado</u></p> <p>Alumno: José Gómez Roibás</p>
---	---	---

indicadores del boletín FIB 71. Sin embargo, una vez comparados los valores de los principales indicadores del boletín FIB con sus correspondientes valores para España, recogidos en Mel et al. (2013, 2014a,b,c,d, 2015) se puede concluir que dichos los valores del boletín FIB son aplicables en nuestro país, dada su semejanza.

En las emisiones y consumo de energía referidas al cemento, arena, grava y microsílíce se incluyen la extracción, el transporte, preparación y procesos hasta que están en condiciones de poder formar el hormigón.

2.2.1. Consumo de recursos

Consumo de energía primaria

- Mide la energía total consumida en la creación de la viga. Se incluyen todos los procesos: fabricación de materiales y del hormigón, transporte, grúa, bombeo, ejecución. Las cifras consignadas en el boletín FIB se establecen en la hipótesis conservadora de que no se usa energía renovable; en España, por tanto, las cifras pueden ser algo conservadoras, pero en países como Australia no lo serían, al tener un mix energético muy pobre en renovables.
- Las estimaciones máxima y mínima en MJ/ m³ de viga se reflejan en la Tabla A2.5.

Máx	Mín
4715,48	3016


Tabla A2.5. Valores máx. y mín. del consumo de energía primaria por m³

- Cambiando a MJ/m lineal de viga se obtienen los datos de la Tabla A2.6.

Máx	Mín	Tipo
3536,68	113,1	Cóncava Decreciente

Tabla A2.6. Intervalos función de valor del consumo de energía primaria por m

- La energía es uno de los problemas más importantes de hoy en día, y por ello se ha tomado una función de valor cóncava decreciente, para así castigar más cuanto mayor sea el consumo (Figura A2.3). Quizá debería ser menos cóncava que la del CO₂, debido a que los problemas de consumo de energía pudieran aliviarse en un futuro, pero las emisiones de CO₂, en principio, parece que no sólo degradan el planeta, sino que no está claro que anulando su emisión el planeta pueda volver a una situación anterior.

 <p>UNIVERSIDADE DA CORUÑA</p> <p>EPS FERROL</p>	<p align="center">MODELO INTEGRADO DE DIMENSIONAMIENTO Y EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE UNA VIGA ISOSTÁTICA DE HORMIGÓN ARMADO</p>	<p align="center">Trabajo Fin de Grado</p> <p>Alumno: José Gómez Roibás</p>
---	---	--

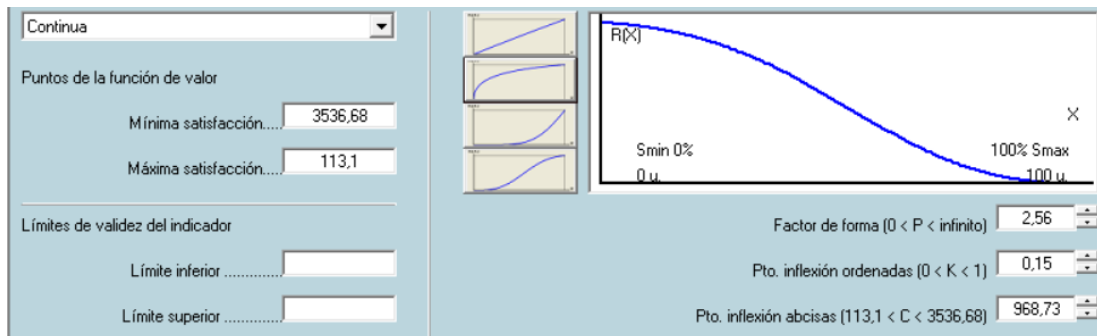


Figura A2.3. Función de valor del consumo de energía primaria

Consumo de agua

- Mide la cantidad de agua consumida en los diversos procesos de fabricación y construcción de la viga.
- La Tabla A2.7 recoge los datos de máximo y mínimo de $m^3_{\text{agua}}/m^3_{\text{viga}}$.

Máx	Mín
1,48	1,20

Tabla A2.7. Valores máx. y mín. del consumo de agua por m^3

- Cambiando a m^3_{agua}/m lineal de viga se obtienen los datos de la Tabla A2.8.

<u>Máx</u>	<u>Mín</u>	<u>Tipo</u>
<u>1,1</u>	<u>0,045</u>	<u>Lineal Decreciente</u>

Tabla A2.8. Intervalos función de valor del consumo de agua por m

- La función de valor elegida es cóncava decreciente (Figura A2.4) ya que hay lugares del planeta donde el agua en condiciones de salubridad es un bien escaso y se ve lógico castigar más cuanto mayor sea el consumo.

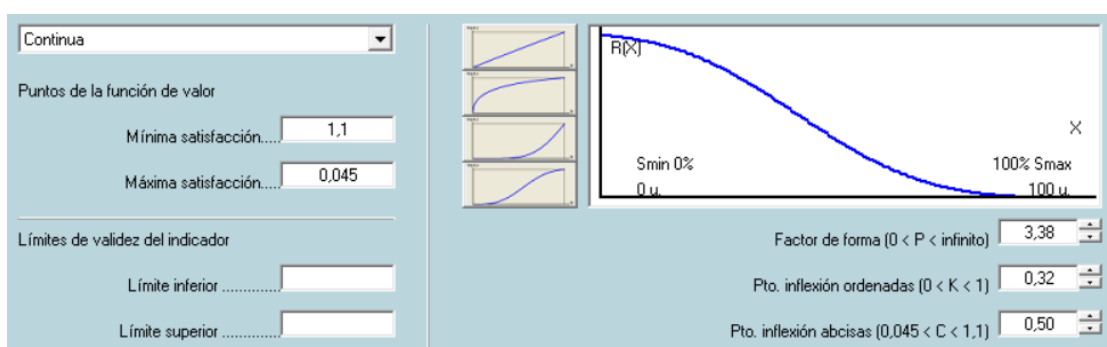



Figura A2.4. Función de valor del consumo de agua

 UNIVERSIDADE DA CORUÑA EPS FERROL	MODELO INTEGRADO DE DIMENSIONAMIENTO Y EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE UNA VIGA ISOSTÁTICA DE HORMIGÓN ARMADO	<u>Trabajo Fin de Grado</u> Alumno: José Gómez Roibás
--	--	---

Consumo de materias primas

- Mide la cantidad de materiales consumidos en la construcción de la viga.
- La Tabla A2.9 recoge los datos de máximo y mínimo de kg necesarios por m³ de viga.

Máx	Min
3132	2432

Tabla A2.9. Valores máx. y mín. del consumo de materias primas por m³

- Cambiando a kg/m lineal de viga se obtienen los datos de la Tabla A2.10.

<u>Máx</u>	<u>Mín</u>	<u>Tipo</u>
<u>2349</u>	<u>91</u>	<u>Cóncava Decreciente</u>

Tabla A2.10. Intervalos función de valor del consumo de materias primas por m

- La función de valor escogida es cóncava decreciente ya que hay un porcentaje mayoritario de habitantes del planeta que no tienen garantizado un suministro suficiente de determinadas materias primas. La función de valor es menos cóncava que la de calentamiento global y más que la del consumo de energía, por razones ya explicadas anteriormente.

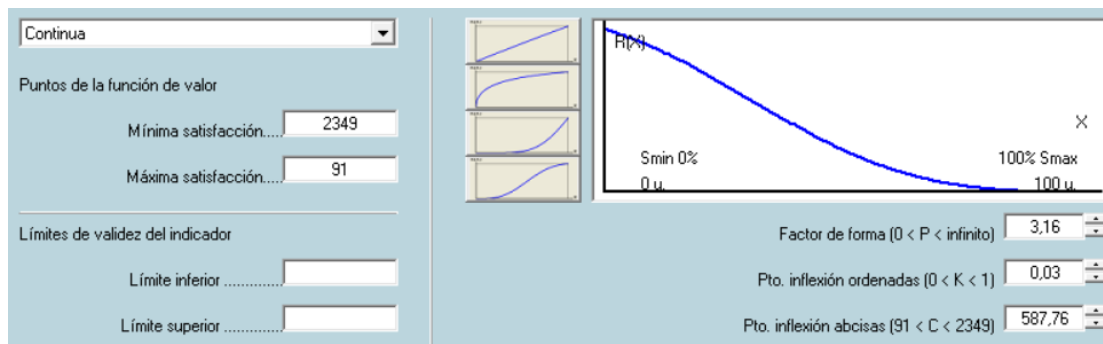



Figura A2.5. Función de valor del consumo de materias primas

Empleo áridos reciclados

- Mide el porcentaje en peso de árido grueso procedente de reciclado de demoliciones de estructuras de hormigón utilizado en la viga, sobre el peso total de árido empleado en la viga. La EHE no establece limitaciones con respecto al máximo porcentaje de árido reciclado a emplear. Sin embargo, recomienda no subir del 20% de sustitución en peso, eximiendo de la

 <p>UNIVERSIDADE DA CORUÑA</p> <p>EPS FERROL</p>	<p align="center">MODELO INTEGRADO DE DIMENSIONAMIENTO Y EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE UNA VIGA ISOSTÁTICA DE HORMIGÓN ARMADO</p>	<p align="center"><u>Trabajo Fin de Grado</u></p> <p>Alumno: José Gómez Roibás</p>
---	---	---

realización de ensayos específicos de laboratorio para porcentajes iguales o inferiores a ese 20%. En este indicador, de acuerdo con la Tabla A2.11, se ha establecido un máximo del 40% en peso, porcentaje al cual se establece el máximo índice de satisfacción. Porcentajes superiores suponen también ese máximo nivel de satisfacción. Por otro lado, puesto que el 20% ya es una cantidad muy relevante, el índice de satisfacción para el 20% es muy cercano al máximo (0,8 sobre 1).

<u>Máx</u>	<u>Mín</u>	<u>Tipo</u>
<u>40</u>	<u>0</u>	<u>Convexa creciente</u>

Tabla A2.11. Intervalos función de valor de áridos reciclados

- Se utiliza una función convexa creciente (Figura A2.6) para premiar aquellas vigas que utilicen áridos reciclables y castigar aquellas que no lo utilicen. Como se ha anticipado, un empleo de un 20% de áridos reciclables daría un índice de satisfacción de 0,8 y cuando se emplea el 40% o más, un índice de satisfacción de 1.

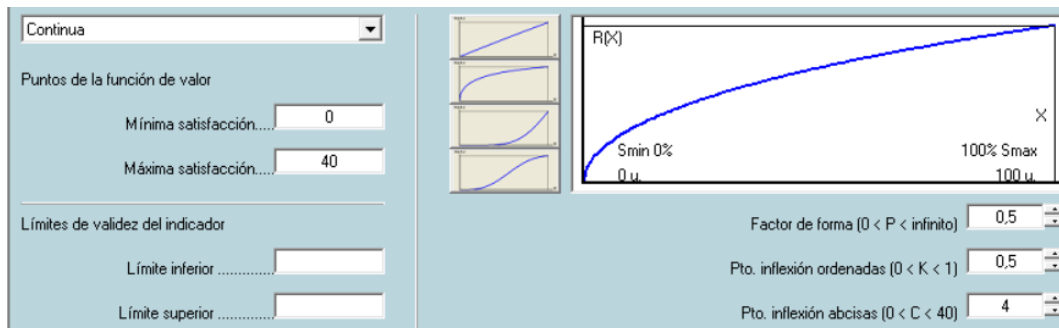


Figura A2.6. Función de valor del consumo de áridos reciclados

2.2.2. Impactos sobre el medio

Entre los impactos evaluados a la hora de comparar una viga con otra tenemos para este caso el calentamiento global, el potencial de acidificación y la formación fotoquímica de ozono. Al igual que para los consumos, los datos de estos indicadores también se han obtenido del Boletín FIB nº 71.

Además de los impactos anteriormente citados, se podrían tener en cuenta otros indicadores como la eutrofización o la toxicidad, pero la falta de datos ha hecho que no se tuviesen en cuenta. En todo caso, de la lectura del boletín FIB se desprende que los indicadores aquí usados son los realmente relevantes.

Calentamiento global

- El vapor de agua, el CO₂, el metano (CH₄), el N₂O, los compuestos clorofluorocarbonados (CFCs) y otras sustancias emitidas contribuyen a generar efecto invernadero en el planeta, que la literatura considera que está causando un calentamiento global del planeta. De todos ellos, el CO₂ es el de mayor impacto. El potencial de calentamiento global se puede medir de varias formas.
- En este caso este indicador mide la cantidad de CO₂ emitido en la fabricación de materiales y del hormigón, en el transporte, uso de grúa, bombeo y ejecución.
- Midiendo los kg de CO₂/ m³ de viga tenemos los intervalos que se muestran en la Tabla A2.12.

Máx	Mín
524	260

Tabla A2.12. Valores máx. y mín. de emisiones de CO₂ por m³

- Cambiando a kg/m lineal de viga se obtienen los datos de la Tabla A2.13.

<u>Máx</u>	<u>Mín</u>	<u>Tipo</u>
393	9,7	Cóncava Decreciente

Tabla A2.13. Intervalos función de valor de calentamiento global

- Dada la importancia de este indicador, y su posible irreversibilidad, se ha utilizado una función de valor cóncava decreciente (Figura A2.7) para así castigar más cuanto mayor sea la emisión.

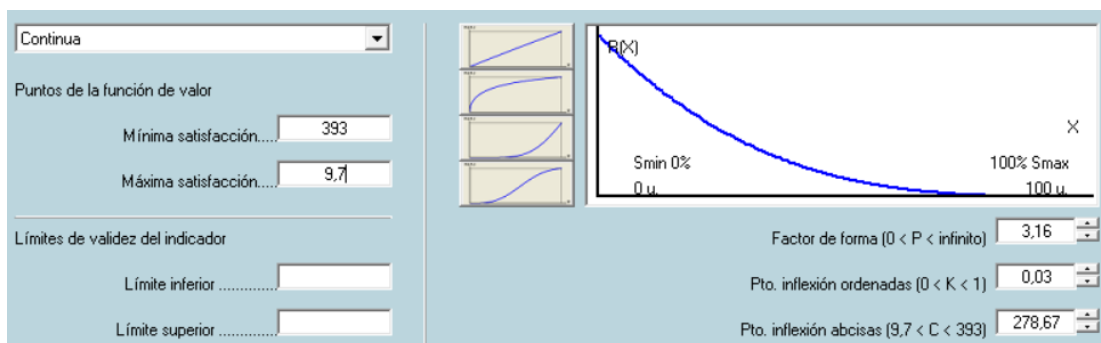


Figura A2.7. Función de valor de calentamiento global

Potencial de acidificación

- La generación de ácidos resultantes de la liberación de NO_x y SO_x genera una acidificación del medio ambiente, con algunos síntomas claros, como la denominada “lluvia ácida”. Esto se puede medir de maneras diferentes.
- En este caso este indicador mide la cantidad de gases SO_x que provocan la acidificación, emitidos en la fabricación de materiales y del hormigón, en el transporte, uso de grúa, bombeo y ejecución.
- La Tabla A2.14 refleja el intervalo de gramos de SO_x/m^3 de viga que se ha estimado en función del boletín FIB.

Máx	Mín
2108	1099

Tabla A2.14. Valores máx. y mín. de emisiones de SO_x por m^3

- Cambiando a g/m lineal de viga se obtienen los datos de la Tabla A2.15.

<u>Máx</u>	<u>Mín</u>	<u>Tipo</u>
<u>1581</u>	<u>41</u>	<u>Cóncava Decreciente</u>

Tabla A2.15. Intervalos función de valor de potencial de acidificación

- Se ha usado una función de valor cóncava decreciente (Figura A2.8), para así castigar más cuanto mayor sea la emisión.

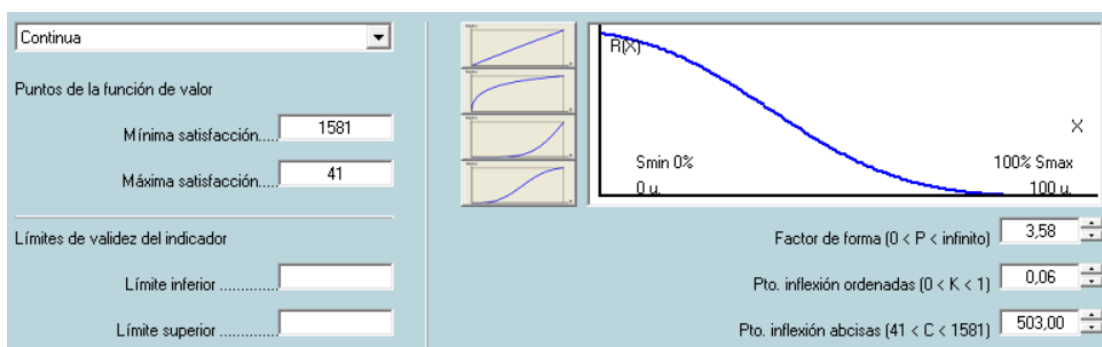



Figura A2.8. Función de valor de potencial de acidificación

 <p>UNIVERSIDADE DA CORUÑA</p> <p>EPS FERROL</p>	<p align="center">MODELO INTEGRADO DE DIMENSIONAMIENTO Y EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE UNA VIGA ISOSTÁTICA DE HORMIGÓN ARMADO</p>	<p align="center"><u>Trabajo Fin de Grado</u></p> <p>Alumno: José Gómez Roibás</p>
---	---	---

Formación fotoquímica de ozono

- El fenómeno denominado niebla de verano, o contaminación de verano, tiene como causa la formación fotoquímica de ozono en la troposfera, durante el verano, por reacciones fotoquímicas entre los NO_x y los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV: CH_3CO , C_2H_2 , C_2H_4 , CH_4 , etc.), o por reacciones del CO.
- El ozono es un agente oxidante e irritante para la vegetación y la población.
- El potencial de formación fotoquímica de ozono se puede medir de varias formas.
- En este caso este indicador mide la cantidad en gramos de etileno (C_2H_4) que provocan dicho fenómeno, emitidos en la fabricación de materiales y del hormigón, en el transporte, uso de grúa, bombeo y ejecución.
- En particular, si se mide en g/m^3 de viga se llega al intervalo de la Tabla A2.16.

Máx	Mín
74	41

Tabla A2.16. Valores máx. y mín. de emisiones capa de ozono por m^3

- Cambiando a g/m lineal de viga se obtienen los datos de la Tabla A2.17.

<u>Máx</u>	<u>Mín</u>	<u>Tipo</u>
55	1,5	Cóncava Decreciente

Tabla A2.17. Intervalos función de valor de emisiones capa de ozono

- Se ha usado una función de valor cóncava decreciente, para así castigar más cuanto mayor sea la emisión.

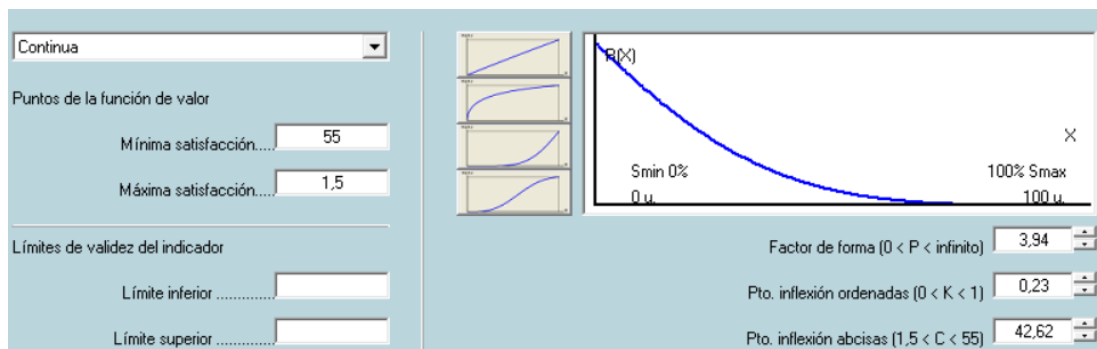


Figura A2.9. Función de valor de capa de ozono

2.2.3. Medidas correctoras

Reciclaje de residuos

- Este indicador se utiliza para valorar el establecimiento de planes de gestión de residuos de construcción y demolición (RDC) que vayan más allá de lo obligado por la legislación vigente. Existe la obligación mínima legal de llevar los residuos a vertedero.
- Se utiliza una función escalón con valores de “Si” o “No”, con índices de satisfacción 1 (máximo) y cero (mínimo). No, si la empresa simplemente lleva los residuos a un vertedero; Si, si la empresa hace la separación de los residuos para su reciclaje, o si los lleva a un gestor para que la realice y proceda al reciclaje.

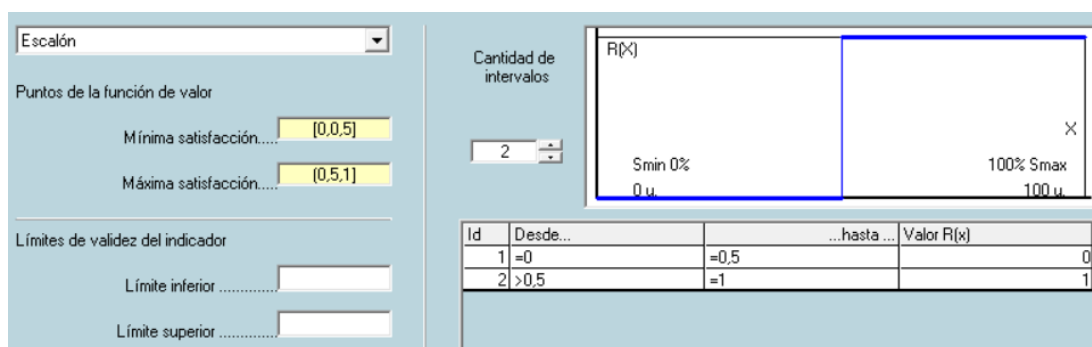


Figura A2.10. Función de valor de reciclaje de residuos

Reducción de impactos en el entorno de la obra

- Se utiliza este indicador para valorar el uso de medidas para minimizar el impacto sobre el medio que rodea a la obra, tales como la utilización de aspersores para el polvo, medidas para disminuir ruido y olores, utilización de papeleras o contenedores, entre otros aspectos.
- Se utiliza una función escalón con mayor valor cuantas más medidas utilicemos. Ninguna medida lleva a un índice de satisfacción nulo, y cuatro medidas o más, a un índice de satisfacción máximo (1).

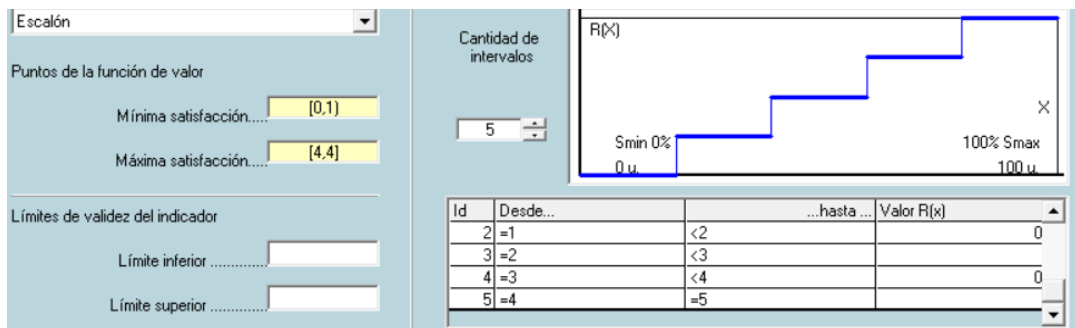


Figura A2.11. Función de valor de reducción de impactos en el entorno de la obra

Medidas de aprovechamiento del agua

- Se pueden utilizar medidas para recoger el agua de lluvia mediante depósitos, y su posterior aprovechamiento. Al margen de posibles pequeños ahorros en costes, lo realmente importante es que se consume menos agua tratada.
- Se utiliza una función escalón de “Si” o “No”, con índices de satisfacción máximo y mínimo, según se tomen dichas medidas, o no.

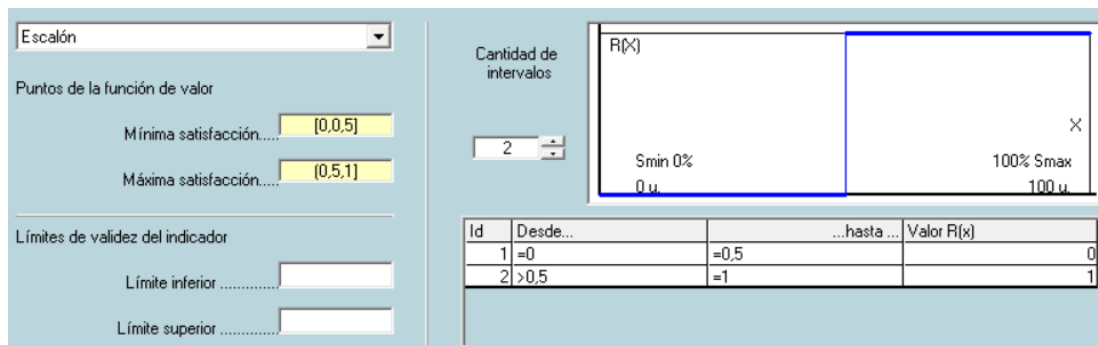


Figura A2.12. Función de valor de medidas de aprovechamiento de agua

2.2.4. Certificaciones

Certificaciones de materiales: acero y cemento

- Este indicador valora si el acero, el cemento, o ambos, tienen certificado de producto emitidos por entidad acreditada; por ejemplo emitidos por

AENOR. Estos certificados de calidad suelen llevar a procesos de fabricación de mayor eficacia, que suelen ser algo menos contaminantes. Por otro lado, sólo se han tenido en cuenta el acero y el cemento, porque son los materiales cuyos procesos de fabricación suponen los mayores consumos de energía y emisiones contaminantes suponen de todos los procesos necesarios para poder construir la viga.

- Se utiliza una función escalón con un índice de satisfacción nulo si ninguno tiene certificado de calidad; 0,3 si únicamente lo tiene el acero; 0,5 si solo lo tiene el cemento (que supone más consumo de energía y emisiones de contaminantes que el acero, en términos absolutos) y 1 si ambos materiales tienen certificado.

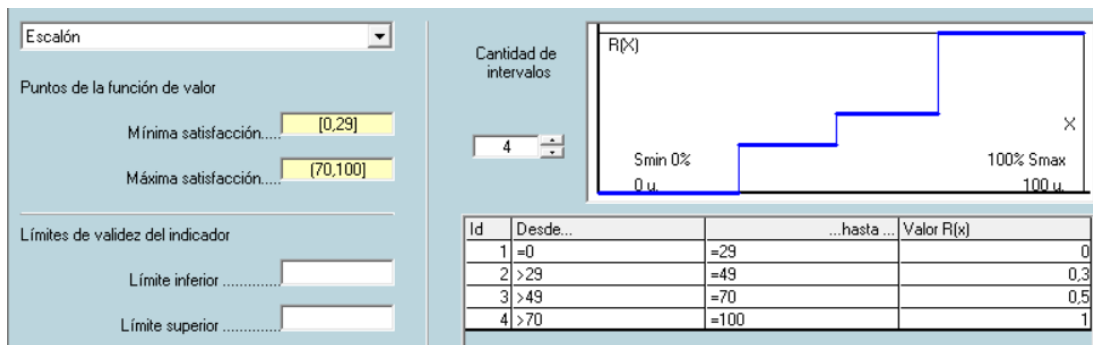


Figura A2.13. Función de valor de certificaciones de acero y cemento


2.3. Indicadores sociales

El ámbito social ha sido el de mayor dificultad a la hora de establecer indicadores. Se han tenido en cuenta indicadores que tienen poco que ver con las dosificaciones, sino que tienen que ver con el volumen de trabajo que se genera y con la empresa que construye la viga o el hormigón.

Los indicadores tenidos en cuenta son los siguientes:

- Creación de empleo.
- Temporalidad.
- Seguridad y salud en el trabajo.
- Empresas locales.
- Estética de la viga.
- Información al ciudadano.

Se han podido tener en cuenta otros aspectos, como:

 <p>UNIVERSIDADE DA CORUÑA</p> <p>EPS FERROL</p>	<p>MODELO INTEGRADO DE DIMENSIONAMIENTO Y EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE UNA VIGA ISOSTÁTICA DE HORMIGÓN ARMADO</p>	<p><u>Trabajo Fin de Grado</u></p> <p>Alumno: José Gómez Roibás</p>
---	--	--

- Impacto visual que producen las instalaciones de fabricación.
- Valor de las propiedades cercanas a la instalación.
- Molestias derivadas de ruido, polvo y suciedad.

Pero se han descartado puesto que no aportan datos realmente diferenciadores a la hora de evaluar una viga u otra.

2.3.1. Creación de empleo

Empleo generado

- Se ha escogido de forma que cuanto más volumen de obra se genere, más mano de obra se generará, conllevando un mayor índice de satisfacción. Hoy en día el paro es uno de los problemas más importantes en nuestro país. Es por ello que este indicador tiene un gran peso; en otras situaciones sociales diferentes podría haberse disminuido dicho peso.
- Se mide en m³ de viga, llegándose al intervalo reflejado en la Tabla A2.18.

<u>Máx</u>	<u>Mín</u>	<u>Tipo</u>
7,5	0,08	<u>Lineal Creciente</u>

Tabla A2.18. Intervalos función de valor de empleo generado

- Se utiliza la función lineal creciente reflejada en la Figura A2.14.

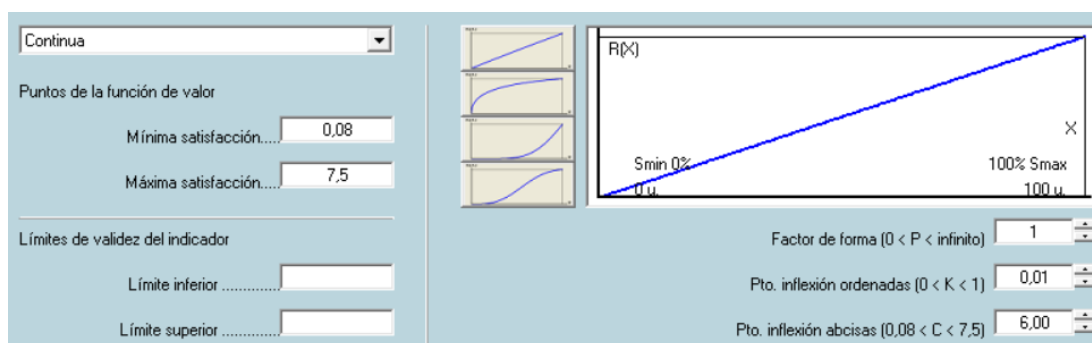


Figura A2.14. Función de valor de empleo generado

Temporalidad

- Es un indicador basado en la duración de los contratos de los trabajadores. A pesar de la grave situación del sector español de la construcción, cuando se trata de estructuras prefabricadas la estabilidad de los contratos suele ser mayor que cuando se trata de una estructura ejecutada in situ.
- Se utiliza una función escalón (Figura A2.15) para establecer dos niveles (mayor o menor temporalidad asociada a prefabricación y ejecución in situ).

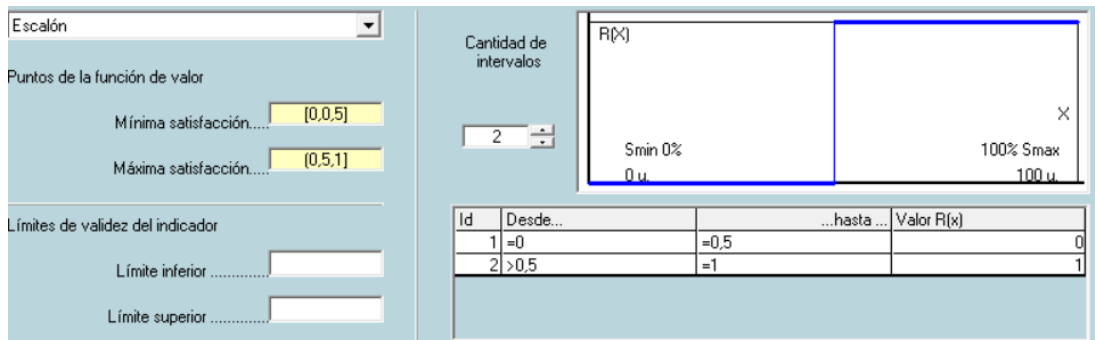



Figura A2.15. Función de valor de temporalidad

2.3.2. Seguridad y Salud

Seguridad y salud

- Este indicador tiene que ver con la seguridad y salud en la construcción de la viga.
- La prefabricación suele tener menos riesgos laborales que la ejecución in situ, que se refleja en los correspondientes índices de siniestralidad.
- Se incluye también la posesión de la certificación OHSAS de seguridad y salud. En el caso de que la viga se ejecute in situ, son el contratista y el subcontratista de hormigón armado los que lo deben tener. En el caso de una viga prefabricada son el contratista y la empresa de prefabricados. Sólo se obtiene puntuación si los dos participantes comentados tienen la correspondiente certificación.
- En particular, la puntuación, sobre un máximo de 100 puntos, se establece de la siguiente forma:
 In situ/Prefabricada

 UNIVERSIDADE DA CORUÑA EPS FERROL	MODELO INTEGRADO DE DIMENSIONAMIENTO Y EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE UNA VIGA ISOSTÁTICA DE HORMIGÓN ARMADO	Trabajo Fin de Grado Alumno: José Gómez Roibás
--	--	--

- 50 70
 Con / Sin certificado OHSAS
 30 0
- Se utiliza una función de valor lineal creciente (Figura A2.16).

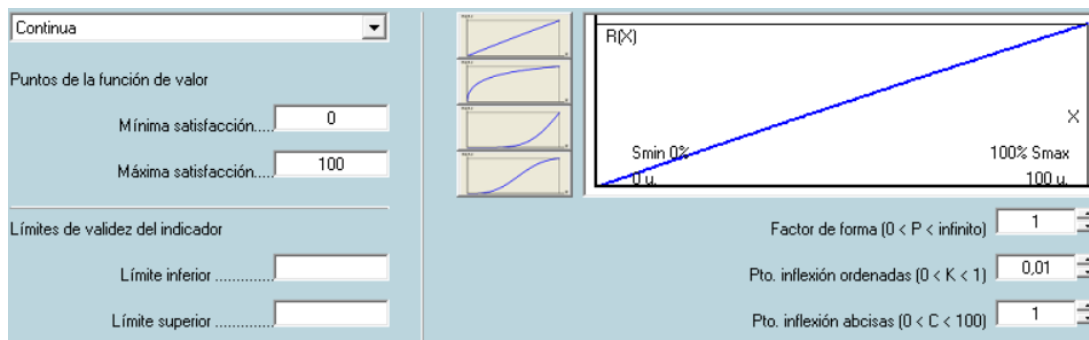


Figura A2.16. Función de valor de seguridad y salud

2.3.3. Consumo local

- Este indicador premia el uso de empresas de la zona, en función de la distancia a la obra de la empresa suministradora que más lejos se encuentre de dicha obra.
- Por razones obvias, cuantos menos km de distancia, mayor índice de satisfacción.
- Se ha establecido un sistema de puntuación que da un índice de satisfacción 100 para 0 km de distancia, y un índice de satisfacción 0 para 30 km o más. Se considera corta distancia menor de 150 km. Es importante a la hora de las emisiones. Los trayectos de corta distancia son menos eficientes y por lo tanto tienen diferentes valores de emisiones.
- Se usa una función lineal decreciente, de acuerdo con la Figura A2.17 para premiar aquellas distancias con mayor puntuación, es decir, según lo dispuesto anteriormente las empresas más cercanas.

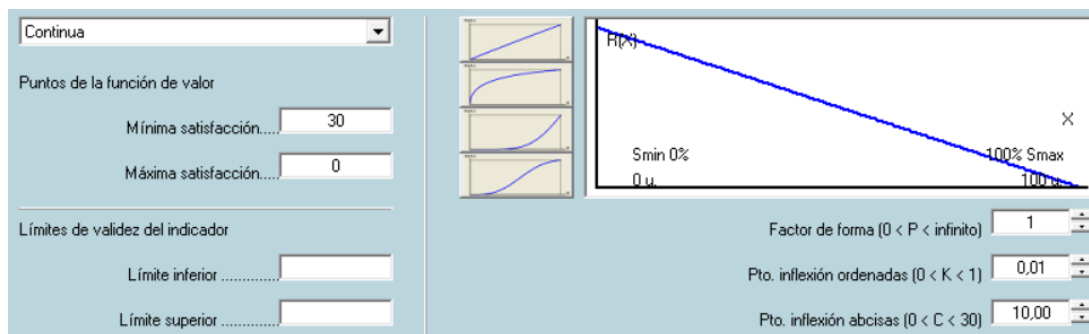


Figura A2.17. Función de valor de consumo local

2.3.4. Estética

Estética

- Puesto que la viga del caso que se usa en este TFG queda a la vista, este indicador valora los resultados, a efectos de estética, de los procesos de fabricación y construcción, incluyendo posibles tratamientos superficiales.
- Se han establecido, sobre un máximo de 100, las siguientes puntuaciones, en función de las condiciones empleadas para la ejecución de la viga.
 - In situ / Prefabricada

20	40
----	----
 - Hormigón convencional/ autocompactante

10	30
----	----
 - Encofrados convencionales/ especiales

0	10
---	----
 - Sin/ Con tratamientos superficiales (berenjenos, relieves, etc)

0	20
---	----
- Se ha utilizado una función de valor lineal creciente, premiando a la viga con mayor puntuación la cual sería prefabricada con hormigón autocompactante, encofrados especiales y con tratamientos superficiales. La menos valorada sería la ejecutada in situ con hormigón convencional, encofrados convencionales y sin tratamientos superficiales, pero no tendría una puntuación nula, ya que de esta forma se pueden conseguir resultados aceptables.

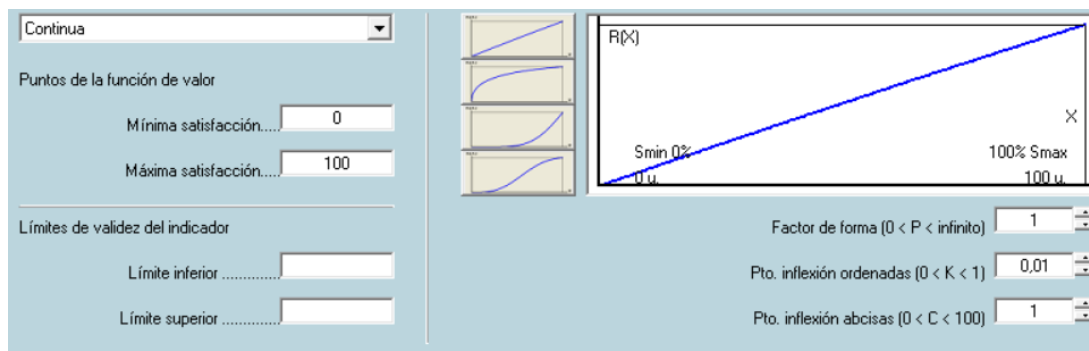


Figura A2.18. Función de valor de estética

2.3.5. Información al ciudadano

Página Web de información al ciudadano

- Este indicador valora la existencia de una página Web de información acerca del proyecto, con objeto de que éste lo conozca, pueda estimar las posibles consecuencias para él, y tomar las oportunas decisiones. Evidentemente, este indicador, como otros recogidos en el presente modelo de sostenibilidad, sobrepasa el ámbito de la viga, e incluso el de la estructura, pero se ha incluido en el modelo por pertenecer al modelo de la EHE-08.
- Se utiliza una función escalón con dos niveles (Figura A2.19): Si o No, dependiendo si existe o no dicha página Web.

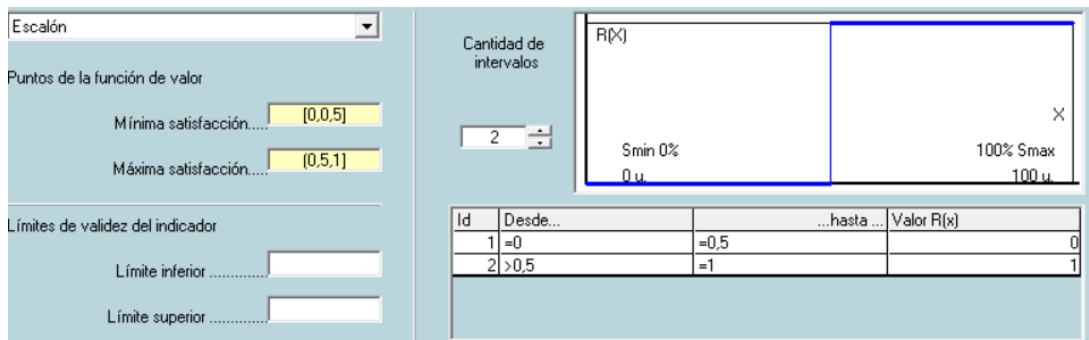



Figura A2.19. Función de valor de página web de información al ciudadano

A continuación, en la Tabla A2.19 se incluye un resumen de los parámetros de las funciones de valor continuas que se han usado, y en la Tabla A2.20 el resumen de los parámetros de las funciones de valor discretas empleadas.

Tabla A2.19: Parámetros para las funciones de valor continuas


Indicador	Parametros					Geometría
	$P_{i,max}$	$P_{i,min}$	A_i	m_i	n_i	
Coste de construcción(€/m)	234,49	9,59	1	0.01	212	Lineal decreciente
Coste de mantenimiento(€/m)	19,5	0,337	1	0.01	19,5	Lineal decreciente

 UNIVERSIDADE DA CORUÑA EPS FERROL	MODELO INTEGRADO DE DIMENSIONAMIENTO Y EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE UNA VIGA ISOSTÁTICA DE HORMIGÓN ARMADO	<u>Trabajo Fin de Grado</u> Alumno: José Gómez Roibás
--	--	---

Cons. Energía primaria (MJ/m)	3536,68	113,1	2,56	0.15	968,73	Cóncava decreciente
Cons. De agua (m ³ /m)	1,1	0,045	3,38	0.32	0,5	Cóncava decreciente
Cons. Materias primas(kg/m)	2349	91	3,16	0.03	587,76	Cóncava decreciente
Empleo áridos reciclados (%)	0	40	0.5	0,5	9	Convexa creciente
Calent. global(kg _e CO ₂ /m)	393	9,7	3,16	0.03	278,67	Cóncava decreciente
Acidificación(g _e SO _x /m)	1581	41	3.58	0.06	503	Cóncava decreciente
Form. Fotoq. ozono(g/m)	55	1,5	3.94	0.23	42.62	Cóncava decreciente
Empleo generado(m ³)	0.08	7.5	1	0.01	6	Lineal creciente
Seguridad y salud(Ecopuntos)	0	100	1	0.01	10	Lineal creciente
Consumo local(km)	30	0	1	0.01	10	Lineal decreciente
Estética(Ecopuntos)	0	100	1	0.01	10	Lineal creciente

Tabla A2.20: Parámetros para las funciones de valor discretas

Indicador	Niveles (valor o nivel de satisfacción)					Geometría
Rec. Residuos	No(0)		Si(1)			Escalonada creciente
Min. Imp. Entorno	MB (0)	B(0,25)	M(0,5)	A(0,75)	MA(1)	Escalonada creciente
Aprov. Agua	No(0)		Si (1)			Escalonada creciente
Certificados	0 (0)	Acero(0,3)	Cemento(0,5)	Ambos (1)		Escalonada creciente
Temporalidad	Baja (0,5)		Alta (1)			Escalonada creciente
Pág. Web	No(0)		Si(1)			Escalonada creciente

 <p>UNIVERSIDADE DA CORUÑA</p> <p>EPS FERROL</p>	<p>MODELO INTEGRADO DE DIMENSIONAMIENTO Y EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE UNA VIGA ISOSTÁTICA DE HORMIGÓN ARMADO</p>	<p>Trabajo Fin de Grado</p> <p>Alumno: José Gómez Roibás</p>
---	--	---

En problemas cuyo árbol de requerimientos está estructurado en tres niveles, nuestro caso, la función resultante V toma la forma de la Ecuación (1):


$$V(P) = \sum_{i=1}^{i=N} \alpha_i \cdot \beta_i \cdot \gamma_i \cdot V_i(P_i) \quad (1)$$

En esta ecuación, $V(P)$ mide el grado de sostenibilidad para la alternativa que está siendo evaluada; α_i y β_i son los pesos de los requerimientos y criterios (Tabla A2.21) a los que pertenece el indicador i ; γ_i son los pesos de los diferentes indicadores; $V_i(P_i)$ representa las funciones de valor usadas para medir el grado de sostenibilidad de la alternativa bajo estudio respecto a un indicador i determinado; y, finalmente, N es el número total de indicadores que se tienen en cuenta en la evaluación. Los pesos α_i , β_i y γ_i son factores que representan la preferencia o importancia relativa, respectivamente, de ciertos indicadores (γ_i), criterios (β_i), y requerimientos (α_i) sobre los demás.

MIVES (Gómez et al. 2012, de la Cruz et al. 2015a) utiliza la Ecuación (2) para las funciones de valor continuas V_i .

$$V_i = \frac{1 - e^{-m_i \cdot \left(\frac{P_i - P_{i,\min}}{n_i} \right)^{A_i}}}{1 - e^{-m_i \cdot \left(\frac{P_{i,\max} - P_{i,\min}}{n_i} \right)^{A_i}}} \quad (2)$$

En esta ecuación, P_i es el valor que toma el indicador i para la alternativa que se está evaluando, que normalmente se va a asociar a un valor o índice de satisfacción V_i entre 0 y 1 (o entre 0 y 100). $P_{i,\min}$ y $P_{i,\max}$ son los valores mínimo y máximo que puede tomar P_i a efectos de la evaluación, y que se asocian al mínimo y máximo índices de satisfacción (0 y 1, o bien 0 y 100); si el indicador tomase valores inferiores a $P_{i,\min}$, V_i seguirá valiendo 0, si tomase valores superiores a $P_{i,\max}$, V_i seguirá valiendo 1 (o bien 100). A_i , n_i , y m_i son factores de forma utilizados para generar funciones de valor cóncavas, convexas, en forma de S o de línea recta. La geometría de las funciones V_i hace posible considerar no linealidades en la evaluación, permitiendo establecer una mayor o menor exigencia a la hora de satisfacer los requisitos de un indicador determinado. Por su parte, el divisor de la Ecuación (2) asegura que la función de valor devolverá un valor dentro del rango $[0, 1]$ y que la contribución máxima a la sostenibilidad vendrá asociada al valor unidad. En el caso de variables discretas las funciones de valor tienen forma escalonada.

 <p>UNIVERSIDADE DA CORUÑA</p> <p>EPS FERROL</p>	<p>MODELO INTEGRADO DE DIMENSIONAMIENTO Y EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE UNA VIGA ISOSTÁTICA DE HORMIGÓN ARMADO</p>	<p><u>Trabajo Fin de Grado</u></p> <p>Alumno: José Gómez Roibás</p>
---	--	--


3. Establecimiento de los pesos

Una vez establecidos los valores y la forma de las funciones para cada indicador, hay que establecer los pesos para cada indicador. A pesar de no ser siempre coherente, la literatura existente permite tener cierta idea de la importancia relativa de los diferentes indicadores medioambientales entre sí. A efectos de costes, para determinar la importancia relativa de costes de inversión y de mantenimiento, lo que se ha hecho es acudir a bases de precios españolas, y en particular a la de CYPE. Todo lo anterior, si no elimina la posible subjetividad, la reduce mucho. Para el resto de aspectos, al igual que en el caso de algunas de las funciones de valor, la subjetividad es mayor, ya que se han establecido en función de las opiniones del alumno y de los tutores del TFG.

A día de hoy, la importancia de los impactos sobre el planeta no se suele discutir; las discusiones, todo lo más, se centran en la magnitud de dichos impactos y de sus consecuencias a corto, medio y largo plazo. Desde hace años, se vienen tomando medidas más drásticas para frenar dichos impactos. Es por esto que se le ha impuesto el mayor valor al aspecto medioambiental: sin planeta no puede haber sociedad, y sin sociedad no puede haber economía. Si vamos un poco más abajo, en los indicadores ambientales vemos que el consumo de recursos y los impactos sobre el medio tienen los pesos más importantes, siendo el calentamiento global y el consumo de energía los indicadores más importantes, de acuerdo con lo recogido en la literatura existente.

Por otro lado, uno de aspectos esenciales de la sostenibilidad, acorde con la Declaración de Río, es que hay que cuidar el planeta peso sin desatender la calidad de vida de las personas. Por ello el requerimiento social es el segundo en importancia. Es más importante que el económico porque las desigualdades sociales sólo pueden llevar, o bien a la inanición del sistema económico, que será incapaz de vender sus productos a una población sin medios económicos para adquirirlos, o bien a revueltas u otros conflictos que suelen llevar a todavía peores consecuencias.

Dar mayor importancia a lo económico que a lo social supone ventaja para la escasa población que maneja la economía, que no necesita ventaja alguna adicional a las que ya tiene. Lo contrario supone un intento de dar más importancia a la población general. Por otro lado, bajando ya al detalle de los indicadores sociales, al tratarse de España se le ha dado gran importancia al empleo. La elevada tasa de paro en España es el principal problema de nuestro país en este momento, y por


 UNIVERSIDADE DA CORUÑA EPS FERROL	MODELO INTEGRADO DE DIMENSIONAMIENTO Y EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE UNA VIGA ISOSTÁTICA DE HORMIGÓN ARMADO	<u>Trabajo Fin de Grado</u> Alumno: José Gómez Roibás
--	--	---

ello se ha establecido el peso más alto para este indicador, a gran distancia del resto. El consumo local es otro de aspecto importante, al beneficiar a empresas de la zona; además, este indicador está relacionado con aspectos medioambientales, debido a que al utilizar empresas de la zona se necesita menos transporte y por tanto tenemos menos consumo de energía y emisiones. A los demás indicadores del modelo se les ha dado pesos menores, por las razones ya explicadas.

Como resultado de lo aquí dicho, y de otras discusiones habidas en el marco del equipo formado por alumno y tutores, en este trabajo se han establecido los pesos que se indican en la Tabla A2.21.

Requerims.	%	Criterios	%	Indicadores	%
Económico	25	Costes directos	100	(1) Coste de construcción	70
				(2) Coste de mantenimiento	30
Medio-ambiental	45	Consumo de recursos	35	(3) Consumo de energía primaria	40
				(4) Consumo de agua	20
				(5) Consumo de materias primas	30
				(6) Empleo de áridos reciclados	10
		Impactos sobre el medio	50	(7) Calentamiento global (CO ₂ equivalente)	67
				(8) Potencial de acidificación (SO ₂ equivalente)	15
				(9) Destrucción capa de ozono	18
		Medidas correctoras	10	(10) Reciclaje de residuos	34
				(11) Reducción de impactos en el entorno de la obra	33
				(12) Aprovechamiento del agua	33
		Certificaciones	5	(13) Certificaciones de materiales	100
		Social	30	Creación de empleo	65
(15) Temporalidad	20				
Seg&Salud	10			(16) Seguridad y Salud	100
Consumo local	15			(17) Consumo local	100
Estética	5			(18) Estética	100
Información al ciudadano	5	(19) Página Web de información al ciudadano	100		

Tabla A2.21. Pesos de los indicadores

 <p>UNIVERSIDADE DA CORUÑA</p> <p>EPS FERROL</p>	<p>MODELO INTEGRADO DE DIMENSIONAMIENTO Y EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE UNA VIGA ISOSTÁTICA DE HORMIGÓN ARMADO</p>	<p><u>Trabajo Fin de Grado</u></p> <p>Alumno: José Gómez Roibás</p>
--	--	--

4. Análisis

Una vez establecidos los diferentes pesos se evalúa el índice de sostenibilidad de la viga considerada, ponderando con valores entre 0 y 1 siendo la mejor con puntuación 1.