

02-004

PROPOSALS FOR IMPROVING THE SUSTAINABILITY ASSESSMENT MODEL OF THE SPANISH STRUCTURAL CONCRETE CODE.

Mel Fraga, José ¹; Gómez López, Diego ²; del Caño Gochi, Alfredo ³; de la Cruz López, M. Pilar ⁴; Aguado de Cea, Antonio ⁵; Josa García-Tornel, Alejandro ⁵

¹ Ministerio de Defensa, ² Intacta Gestión Ambiental, ³ Universidad de La Coruña, ⁴ Universidade da Coruña, ⁵ Universidad Politécnica de Cataluña

The Spanish Structural Concrete Code (EHE-08) has been a pioneer experience in the international arena, establishing a model for assessing sustainability. After years of applying and analyzing that model, the authors have detected some problems, as well as potential improvements to carry out. At present, the Spanish Ministry of Public Works is working to generate a new Structural Code adapted to the Eurocodes. The new Spanish Code will include supplementary documents for dealing with the topics not covered by the Eurocodes. This will be the case of sustainability assessment. This paper will present different proposals for avoiding the alluded problems and achieving a more rigorous assessment model.

Keywords: *sustainability assessment; structural concrete; codes*

PROPUESTAS PARA LA MEJORA DEL MODELO DE EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA INSTRUCCIÓN ESPAÑOLA DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL

La Instrucción española de hormigón estructural EHE-08 ha sido pionera internacionalmente, estableciendo un modelo de evaluación de la sostenibilidad. Tras años de aplicación y análisis de dicho modelo, los autores han detectado algunos problemas en él, así como diversos aspectos a mejorar. En estos momentos el Ministerio de Fomento está trabajando para generar un nuevo Código Estructural español, adaptado a los Eurocódigos. El nuevo Código español va a incorporar documentos complementarios para aquellos aspectos no cubiertos por los Eurocódigos, como es el caso de la evaluación de la sostenibilidad. Esta comunicación presentará diversas propuestas para que el nuevo modelo carezca de los problemas detectados y sea más riguroso en sus evaluaciones.

Palabras clave: *evaluación de la sostenibilidad; estructural; normativa*

Correspondencia: Alfredo del Caño Gochi alfredo@udc.es

Agradecimientos: El presente trabajo se ha realizado en el marco de los proyectos BIA2010-20789-C04-02 y 08TMT011166PR, respectivamente financiados por el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) y la Xunta de Galicia.

1. Introducción. Objeto. Materiales y métodos.

La Instrucción vigente de hormigón estructural EHE-08 (en adelante, EHE; Ministerio de la Presidencia, 2008a) ha supuesto muchos cambios, entre los que se encuentra un planteamiento general de sostenibilidad para el conjunto de la propia Instrucción, no existente hasta la fecha y no usual en este tipo de normativas. El nuevo articulado incluye estrategias para evitar un consumo innecesario de materiales, como es el caso del fomento del uso de la probeta cúbica, así como para promover un uso racional de la energía favoreciendo, por ejemplo, la producción de cementos con combustibles alternativos a los convencionales.

La EHE se ha estructurado de manera que se pueda analizar buena parte del ciclo de vida de la estructura, estableciendo estrategias para disminuir los impactos sobre el medio ambiente (Rodríguez, 2008). Además, se ha potenciado el carácter de sumidero ambiental de las estructuras de hormigón, acercando la instrucción a la realidad del mercado, en la cual hace tiempo que se usan subproductos y residuos como el humo de sílice, las cenizas volantes, la chatarra, o el árido procedente de reciclaje, entre otros. Finalmente, la Comisión Permanente del Hormigón (CPH) no ha querido conformarse con un conjunto bienintencionado de reglas cualitativas, creando el Anejo 13 (en adelante, el Anejo), que da al técnico la posibilidad de cuantificar la contribución de las estructuras a la sostenibilidad, mediante el denominado Índice de Contribución de la Estructura a la Sostenibilidad (ICES), pionero en el ámbito internacional.

Si bien se nota una progresiva preocupación con respecto a la sostenibilidad entre los técnicos del sector, tanto dentro como fuera de España, hasta ahora la aplicación del Anejo ha sido reducida, lo cual puede responder a varios factores. Entre otros, y en primer lugar, el importante período de crisis habido, que ha reducido mucho el volumen de obra. Esto lleva a planteamientos de mero corto plazo, cuando la sostenibilidad es un enfoque a largo plazo. Por otro lado, el Anejo no es de obligado cumplimiento y el proyectista, salvo exigencia en contra por parte de su cliente, tiende a no aplicarlo para no hacer todavía más complicado el ya de por sí complejo proceso de proyectar estructuras. También puede haber influido la dificultad de introducir novedades en un sector tradicionalmente conservador; esto siempre requiere cierto tiempo y esfuerzo, y tanto más, en este caso, si se trata de aspectos alejados de lo tensional, de las deformaciones, y del propio dimensionamiento. Además, la falta del papel tractor de las Administraciones Públicas en sus propias inversiones no ha tenido un efecto de ejemplo para el sector privado. Finalmente, puede haber influido una falta de explicación y pedagogía del propio Anejo, especialmente por ser una normativa pionera, lo cual suele suponer para el técnico diversos problemas de interpretación y aplicación.

Han pasado los años, y en este momento se está redactando el nuevo Código Estructural (CE) español, que sustituirá a la EHE y a la EAE (Instrucción de acero estructural; Gómez et al., 2012c) ajustándose a los Eurocódigos. Ello representa una oportunidad para mejorar lo relativo a la sostenibilidad. Hay dos posibles alternativas: la mejora progresiva, o el cambio radical.

El objeto de esta comunicación es desarrollar estas dos alternativas, aportando recomendaciones o soluciones para la mejora del Anejo de sostenibilidad de la EHE, y su utilización en el nuevo Código Estructural y, por otro lado, nuevas ideas que pueden servir tanto para una mejora progresiva, como para un cambio radical. Se hace notar que, si bien algunas de estas propuestas son específicas para estructuras de hormigón, otras son aplicables a cualquier tipo de estructura, sea de hormigón, metálica, de madera o de fábrica. En todo caso, los autores no pretenden la crítica sino sugerir posibles soluciones, entre otras cosas porque casi todos ellos han participado en la redacción del Anejo 13 de la EHE.

En lo relativo a interpretación y aplicación, los autores han estudiado a fondo el texto de la instrucción, y han consultado el borrador final del grupo de trabajo que lo redactó, que fue sometido a exposición pública. Téngase en cuenta que en la redacción de una Instrucción de este tipo, dicho grupo no tiene control total sobre el resultado final, ya que tras su intervención se abre un período de exposición pública y cualquier persona física o jurídica puede proponer modificaciones que, de ser aceptadas por la CPH, modifican el borrador preparado por el grupo. Además de lo anterior, se han mantenido conversaciones con responsables del Ministerio de Fomento y con algunos otros miembros del mencionado grupo de trabajo. Por otro lado, se han realizado búsquedas bibliográficas y se han analizado los desarrollos que ha habido sobre el modelo de la EHE, con posterioridad a la misma. Finalmente, los autores han aplicado el Anejo a diversos proyectos, durante más de cinco años. Como resultado de ello se han detectado diferentes problemas en el articulado.

Antes de seguir adelante es necesario hacer una aclaración. La EHE es muy parca en explicaciones y se limita a resumir los criterios o indicadores que hay que tener en cuenta en la evaluación, las fórmulas a usar en la misma, y los valores que pueden tomar las diferentes variables que incluyen dichas fórmulas. No explica el método MIVES (Método Integrado de Valor para una Evaluación Sostenible), que es el que se ha usado como base en la Instrucción. El objeto de esta comunicación no es exponer los fundamentos de dicho método, ni que el lector comprenda el Anejo. Por el contrario, esta comunicación va dirigida al lector que tiene cierto conocimiento del Anejo 13 de la EHE y de su aplicación a casos reales, con vistas a provocar en él la reflexión, de forma que pueda analizar en su momento el borrador del nuevo Código Estructural con mayor claridad, aportando incluso ideas adicionales a las aquí incluidas, como resultado de sus propios razonamientos. El lector interesado que todavía no tenga un conocimiento mínimo del Anejo debe consultar las publicaciones de Aguado et al. (2011) o Gómez et al. (2012b), antes de afrontar la presente lectura.

2. Resolución de problemas menores del modelo de la EHE

A continuación se resumen las principales ideas para mejorar los problemas menores de tipo práctico del Anejo 13 de la EHE-08. En la extensión que permite un escrito de este tipo no hay espacio para exposiciones detalladas. Por tanto, se van a reseñar los problemas más relevantes. El lector interesado puede encontrar en Gómez (2012) dichas explicaciones detalladas, y en GRIDP (2015b) un texto modificado del Anejo, en el cual se solucionan todos los problemas menores que se han detectado. No es objeto de este epígrafe entrar a discutir si sobra o falta alguna variable o indicador en la evaluación, o si los pesos del árbol y las puntuaciones asignadas por el anejo reflejan la contribución real a la sostenibilidad de cada variable, cosa que se hará en el epígrafe siguiente.

- *Árbol de requerimientos.*

- Para mayor claridad, el nuevo Código debería incluir en el articulado la imagen del árbol de requerimientos, criterios e indicadores en el cual se basan los cálculos.
- Para evitar incoherencias conceptuales con respecto a la ubicación de otros indicadores, el indicador medioambiental *optimización del acero para armaduras* debe ubicarse en el criterio medioambiental *preservación de los recursos*.
- Para evitar resultados incoherentes del cálculo, debidos a la correlación que hay entre algunas de las variables de estos dos indicadores, al problema de cálculo causado por el parámetro H, así como a la semejanza existente entre los aspectos valorados en ambos, los indicadores de *optimización del cemento* y *optimización del*

hormigón deben unificarse en uno solo, denominado *optimización del cemento y las adiciones*.

- Las propuestas anteriores llevan a la necesidad de redefinir los pesos de los parámetros afectados por las mismas.
- *Funciones de valor*. Para evitar resultados indeseables del cálculo, contrarios a la misión del indicador medioambiental de *sistemática del control de ejecución*, su función de valor debe tener forma de S, para fomentar realmente el uso de coeficientes de seguridad disminuidos en un porcentaje elevado de los materiales.
- *Criterios medioambientales de caracterización del hormigón y de las armaduras*.
 - Con respecto al primer criterio, hay que solucionar diversas erratas en el párrafo que dice: “Los valores de la Tabla anterior se corresponden con unas distancias máximas de transporte de 45 km y 300 km para el hormigón preparado [...], que seguirá siendo 0”. Este párrafo lleva a cálculos en contra del concepto de sostenibilidad, y por ello es necesario redactarlo de la siguiente forma: “Los valores de la Tabla anterior se corresponden con unas distancias máximas de transporte de 45 km y 300 km para el hormigón preparado y para los elementos prefabricados, respectivamente. En el caso de que dichas distancias fueran mayores, los valores de los coeficientes λ_{11} y λ_{13} , correspondientes a la instalación de hormigón preparado y a la de prefabricación, se reducirán en 5, y el correspondiente a la empresa constructora también se disminuirá en 5, salvo en la fila correspondiente a “Otros casos” que seguirá siendo 0”.
 - Lo mismo habría que hacer con respecto las erratas del mismo tipo que hay en el criterio de *caracterización de las armaduras*.
- *Criterio medioambiental de optimización del armado*.
 - Para evitar posibles problemas de cálculo cuando coexisten en la obra elementos de hormigón armado y pretensado, el texto normativo debe aclarar que en este caso hay que obtener las puntuaciones para cada tipo de hormigón, entre 0 y 100, y después ponderarlas en función del porcentaje en volumen de cada tipo.
 - Con respecto al sistema de unión de las armaduras, para evitar cálculos en contra de la realidad, la puntuación P_3 debe ser igual o menor si el hormigón es armado que si es pretensado, a igualdad del resto de variables.
 - Teniendo en cuenta que (por ejemplo, en plantas industriales) hay estructuras que no incluyen losas de tipo alguno, el parámetro relativo a losas armadas con mallas electrosoldadas debe eliminarse, o bien redefinirse para evitar penalizar dichas estructuras.
- *Criterio medioambiental de optimización del acero*. En este indicador se valora dos veces la posesión de un distintivo de calidad. Primero al establecer las puntuaciones λ_{4i} , y posteriormente mediante el parámetro A de su función representativa. Se debe eliminar dicha duplicidad, suprimiendo el parámetro A.
- *Criterio medioambiental de sistemática del control de la ejecución*.
 - Por coherencia con el fomento que el Anejo hace acerca del uso de coeficientes de seguridad reducidos para el acero, también debe hacerse lo propio con el hormigón.
 - Por otro lado, debe solucionarse el hecho de que la tabla de puntuaciones de este criterio no recoge todos los posibles casos que se pueden dar en la realidad.
- *Criterio medioambiental de reciclado de áridos*. Por coherencia con el resto de articulado de la EHE, en el cual se permite un contenido de áridos reciclados superior al 20%, este

indicador debe valorar positivamente porcentajes superiores a dicho 20%. La correspondiente función de valor debería ser cóncava con respecto al eje de abscisas, con objeto de obtener altos niveles de satisfacción para dicho 20%, que es el máximo recomendado por la EHE en ausencia de estudios específicos.

- *Criterio medioambiental de control de los impactos.* Ni todos los métodos incluidos en este indicador son igualmente eficaces, ni todas sus combinaciones contribuyen en el mismo grado a evitar la generación y propagación de polvo, partículas y suciedad. Además, algunos de ellos son claramente alternativos entre sí. Esta realidad va en contra de las puntuaciones establecidas por el Anejo. Las nuevas puntuaciones deben reflejar el grado de eficacia individual o colectiva de los diversos métodos, y distinguir la zona en la que actúan (accesos, obra y transporte).
- *Criterio medioambiental de gestión de los residuos.*
 - Además del reciclaje y la retirada a vertedero, el Anejo considera posible que no se lleve a cabo “ninguna acción controlada” con los productos y residuos producidos durante la ejecución de la estructura. Esto va en contra de la legislación vigente en España (RD 105/2008; Ministerio de la Presidencia, 2008b; Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos; Ministerio de Medio Ambiente, 2008). Esto debe anularse, evitando asignar puntuación alguna a la alternativa de enviar a vertedero, ya que es la actuación legal que supone menor contribución a la sostenibilidad.
 - Además, debe solucionarse el hecho de que la tabla de puntuaciones relativa al tipo de probetas utilizadas para el control de calidad no recoja todos los posibles casos que se pueden dar en la realidad.
- *Criterio de contribución social.* Por coherencia con el resto de criterios, debe eliminarse el concepto de ICES de proyecto, que además puede provocar problemas de aplicación.

3. Propuestas para mejorar la eficiencia del modelo de evaluación existente

Hasta aquí lo relativo a la resolución de problemas menores del modelo de la EHE, de tipo práctico. Sin embargo, como se va a explicar a continuación, la solución de dichos problemas no evita que, en realidad, la aplicación de dicho modelo no refleje bien la contribución real de la estructura a la sostenibilidad. Se proponen, por tanto, ideas para la mejora la eficiencia del modelo de evaluación existente. Algunas podrían encajarse dentro una mejora progresiva del Anejo, mientras que otras suponen un cambio radical.

3.1 Ponderación de las diferentes variables

Mel et al. (2014a, b, c y d) han realizado un análisis de ciclo de vida del hormigón estructural, ajustado a la realidad española. De ello se concluye que las variables del modelo de la EHE que deberían tener más peso son, por este orden, las relacionadas con los consumos e impactos asociados a la fabricación de cemento (en particular, del clinker), a la producción de acero y a los diversos transportes a realizar. Al margen de lo anterior, parece lógico que también tengan un peso relevante las variables relacionadas con las medidas para el ahorro de agua, el aprovechamiento de las escorias del acero y, en general, el coeficiente de contribución social.

Sin embargo, el lector interesado puede comprobar que esto no es lo que sucede en la EHE. Una manera fácil y rápida de hacerlo es usando la aplicación informática que el Ministerio de Fomento ofrece en su propia Web (Ministerio de Fomento, 2015a), aplicándola a un caso frecuente, y haciendo variar los parámetros relacionados con todo lo que se acaba de mencionar.

Por ejemplo, la condición medioambiental de los participantes en el proyecto tiene una influencia conjunta en el ICES que resulta a todas luces desproporcionada. A esto hay que sumar el hecho de que hoy en día una amplia mayoría de empresas están certificadas en calidad y medioambiente y, por tanto, estas puntuaciones van a ser obtenidas sin grandes problemas, independientemente de las características reales de la estructura. La posesión de distintivos de calidad oficialmente reconocidos está también generalizada entre los productores españoles, y tiene una influencia importante sobre el ICES. Existen otros aspectos en los que se dan circunstancias similares, pero que apenas influyen en el ICES; este es el caso de la realización de controles radiológicos en las plantas siderúrgicas, y del sometimiento a las exigencias del Protocolo de Kioto, lo cual se cumple a nivel de países y no de instalaciones concretas. Todas estas variables pueden ser una forma de premiar a los productos de origen nacional o de países del mismo nivel y precios que España, frente a otras importaciones.

En otro orden de cosas, llama la atención que determinados aspectos cuya contribución real a la sostenibilidad es nula o despreciable, tengan una influencia relevante sobre el ICES (porcentajes de hormigón y de armaduras suministrados por diferentes tipos de empresa; porcentaje de losas armadas con malla electrosoldada o armadura de mallazo soldado; y empleo de cementos tipo CEM I). Todo esto debería ser solucionado, como mínimo, modificando los pesos del árbol.

3.2 Nivel de exigencia

Relacionado con lo anterior, y en lo relativo al nivel de exigencia del Anejo 13 la EHE, su aplicación a proyectos reales permite afirmar que una estructura diseñada y ejecutada sin prestar atención a criterios de sostenibilidad, difícilmente obtendrá un nivel de ICES alto (nivel A) o medio-alto (nivel B). No obstante, visto que la mayoría de los requisitos establecidos por el Anejo no son excesivamente exigentes ni difíciles de cumplir, si los propietarios, proyectistas y contratistas proyectan y ejecutan sus estructuras con cierto cuidado y control, sí es posible conseguir niveles de sostenibilidad medio-altos, o incluso altos, sin excesivas complicaciones.

Lo que sí es cierto, es que las pequeñas estructuras ejecutadas por PYMES, que son mayoría en número, tendrán normalmente niveles del ICES más bajos que las estructuras de mayor tamaño ejecutadas por grandes constructoras. Las causas de esto son claras. Por un lado, sobre las obras de gran calado suele existir un mayor control y exigencia, tanto por parte de los órganos administrativos responsables como por parte de la opinión pública y las organizaciones medioambientales. Por otro, las grandes empresas siempre suelen contar con distintivos de calidad y medioambiente que les obliga a cumplir ciertos requisitos valorados positivamente por el Anejo.

En opinión de los autores, el nivel de exigencia debería aumentarse en el nuevo Código Estructural, e ir aumentándose progresivamente en el tiempo, poco a poco, dada la importancia clave de este asunto. Una cosa que es aplicable ya de forma inmediata es algo que existe en los sistemas actuales de certificación: la exigencia de que, para que una estructura pueda obtener una denominación determinada a efectos de sostenibilidad, en el marco del nuevo Código, tenga que obtener una puntuación mínima, que debería alcanzarse en cada uno de los pilares (ambiental, social y económico), para que realmente se hable de sostenibilidad en sentido amplio.

3.3 El ciclo de vida y el concepto integral de la sostenibilidad

Por otro lado, resulta obvio que el actual Anejo no tiene en cuenta todo el ciclo de vida de la estructura. Poco a poco, el nuevo Código debería ir incorporando todo el ciclo de vida, desde la cuna, desde la obtención de las materias primas (si se quiere, desde la concepción,

desde el diseño), hasta la tumba (desactivación y envío a vertedero), o desde la cuna hasta la cuna, en el caso de reciclaje o reutilización. Esto es difícil, sobre todo con hormigón de central (no tanto con prefabricados), pero es un objetivo a analizar y considerar, a medio o largo plazo.

Por otro lado, un posible nuevo modelo que suponga un salto importante con respecto al actual, debería incluir un conjunto más completo de indicadores ambientales, sociales y económicos. El modelo actual no entra en algunos aspectos ambientales, y apenas incluye unos pocos aspectos sociales, que además no son los más importantes; por ejemplo, no aborda la generación de empleo ni su calidad, ni tampoco la realización de rigurosos análisis de necesidades de la obra, para evitar inversiones innecesarias que suponen ingentes gastos de la sociedad. Finalmente, trata lo económico de forma incompleta e indirecta, a través del coeficiente de extensión de la vida útil.

Tendría que tenderse a un enfoque homogéneo de los tres pilares de la sostenibilidad, con una estructura más clásica de forma que el árbol, que hoy en día sólo afecta a lo medioambiental (ISMA), constase de los tres pilares antedichos, todos ellos tratados con la misma metodología de base, y con cierta transversalidad por consistencia con otros materiales. Cabe la posibilidad de considerar un cuarto pilar, relacionado con lo funcional, técnico o tecnológico.

3.4 Generalización e integración

Con respecto a ideas relacionadas con la generalización, cabe pensar en que haya un planteamiento válido para estructuras de hormigón, pero adaptable fácilmente a toda la cadena de valor; preferiblemente, que sea completamente adaptable. Dicho de otra forma, que haya un enfoque consistente en cada etapa del ciclo de vida. En el cemento y el hormigón, la cadena de valor se inicia en la obtención de las materias primas, y termina con su envío a vertedero. Al concebir modelos de sostenibilidad sería útil que cada etapa de la cadena de valor tuviese un planteamiento homogéneo, o por lo menos similar. Esto es complicado, porque si se abarca un abanico demasiado amplio, los parámetros pasan a ser más genéricos y no resulta posible utilizar aspectos o enfoques específicos de cada etapa.

En otro orden de cosas, es deseable que exista un planteamiento común para la evaluación de la sostenibilidad de todo tipo de estructuras (hormigón, acero, madera, fábricas), e incluso que haya un solo modelo para todas ellas. Esto último puede ser relativamente fácil si el modelo se basa en indicadores convencionales de análisis del ciclo de vida (ACV), como son los relativos a emisiones de CO₂, generación de empleo o costes de mantenimiento, que son comunes a todo tipo de estructuras. Esto exigiría un cambio radical de los parámetros a tener en cuenta en el modelo. La otra alternativa es intentar seguir usando variables del mismo tipo que las actuales, algunas de las cuales son específicas; este es el caso, por ejemplo, de la variable que tiene que ver con los medios de unión de la ferralla, específica del hormigón estructural, que no puede usarse para el resto de los tipos de estructura. Esta segunda alternativa supondría una complejidad altísima, con la consideración de una elevada cantidad de parámetros, mucho mayor que la actual, que ya es elevada. Esto dificultaría mucho la tarea del grupo redactor y de los proyectistas, y alargaría muchísimo el texto normativo.

Antes de seguir adelante hay que hacer una aclaración que permita entender mejor los porqués del modelo de la EHE, y el hecho de que no se base en los indicadores del ACV convencional. Ambas alternativas tienen ventajas e inconvenientes. El ACV convencional sólo trataba los aspectos medioambientales, si bien los aspectos económicos y sociales se están incorporando cada vez más al mismo. Sin embargo, incluso en los países más avanzados, la mayoría de proyectistas no suelen estar preparados para afrontar este tipo de análisis. Además, todavía no hay bases de datos tan completas y rigurosas como sería

preciso para hacer un ACV sin grandes dificultades. Adicionalmente, las bases de datos existentes no suelen ajustarse a la realidad del país o región en que se desarrolla el proyecto.

Con respecto al modelo de la EHE, éste no trata de estimar los impactos sobre el planeta, pero utiliza variables que el profesional del sector conoce bien y maneja sin grandes problemas. Esto facilita mucho la tarea del técnico. De todas formas, dos modelos basados en cada una de dichas alternativas, que estén bien concebidos y desarrollados, deben llevar a una contribución similar de la estructura a la sostenibilidad y, por tanto, cumplir la misma misión, con consecuencias parecidas. El método MIVES no tiene nada que ver en todo esto, porque también se puede aplicar a un modelo de ACV, con objeto de integrar los indicadores ambientales, económicos y sociales en un solo índice global, de manera parecida a lo que se ha hecho en la EHE.

Dicho esto, y además de lo anteriormente comentado, sería de gran ayuda y utilidad la integración o acoplamiento entre el modelo de sostenibilidad del nuevo Código estructural y los estándares y sistemas de certificación de sostenibilidad existentes. Entre otras cosas, sería deseable la compatibilidad con esquemas de la Global Reporting Initiative (2015), en la medida de lo posible. Las Memorias de Sostenibilidad de las empresas y, en general, las Memorias de Sostenibilidad, suelen ajustarse a lo establecido por la Global Reporting Initiative. Sería bueno que lo que se haga en el nuevo Código Estructural sea útil para la información de las Memorias de Sostenibilidad, y viceversa. Esto promovería su uso y utilidad. Una opción inicial simple sería valorar como parámetros la existencia de Memorias de Sostenibilidad en las empresas, con calificación A o A+, de forma similar a lo que se hace en el Anejo actual con la certificación ISO 9000, ISO 14000 o EMAS. Lo mismo se podría decir en relación con los sistemas de certificación de edificios (LEED, BREEAM, entre otros).

Todo esto es algo a lo que debe tenderse en todo caso, sea a medio o largo plazo, si bien es algo que también planteará dificultades importantes en la redacción del clausulado, que podría ver aumentada su complejidad, debido al hecho de que los estándares y sistemas de certificación existentes son diferentes entre sí. Además de lo anterior, podría haber dificultades y conflictos en las interrelaciones y coordinación con las entidades que promueven dichos estándares y sistemas de certificación, que tienen intereses no necesariamente coincidentes con los de la Administración.

3.5 Grado de aplicación. Obligatoriedad

Por diversas razones, ya comentadas en el epígrafe de introducción, el Anejo ha sido aplicado en un número reducido de proyectos. Es probable que el empuje definitivo para la aplicación masiva de un Anejo de este tipo sólo pueda darse desde las Administraciones Públicas. Por otro lado, quizá es pronto para establecer obligatoriedad de aplicación, pero esto es algo que habrá de hacerse a no mucho tardar, dada la importancia real de la sostenibilidad para el planeta y sus sociedades. Si la aplicación continuase siendo voluntaria, la difusión e implantación del modelo será, como es lógico, mucho más lenta. Por otro lado, hay dos posibles alternativas de obligatoriedad: la simple obligación de calcular el índice de sostenibilidad de la estructura y la que supone, además, que la estructura sobrepase un índice mínimo de sostenibilidad, sea global, sea en cada uno de sus pilares (ambiental, social y económica).

La simple obligatoriedad ya sería un espaldarazo importante, y esto no sería algo demasiado complicado, siempre y cuando haya un clausulado muy claro y preciso, publicaciones de apoyo que resuelvan toda posible duda de aplicación (por ejemplo, Gómez, del Caño & de la Cruz, 2013), y software gratuito (por ejemplo, véanse Gómez et al., 2012a, GRIDP, 2015a y Ministerio de Fomento, 2015a, b), de forma que para cualquier proyectista

sea factible el cálculo del índice de sostenibilidad de una forma fiable y con cierta simplicidad.

La obligatoriedad de que toda estructura de hormigón tenga un cierto nivel de ICES sería algo mucho más drástico, aunque es algo deseable a medio y largo plazo. Esto puede ser complicado o incluso imposible de implantar a corto plazo, dados los difíciles momentos que atraviesa el sector de la construcción en España. Algo más progresivo sería plantearse lo anterior como un objetivo a largo plazo, estableciendo un primer paso de forma que las Administraciones Públicas, o una parte de ellas, como cliente, requiriesen un cierto nivel de ICES en sus estructuras de hormigón.

Esto se podría hacer también de forma progresiva, comenzando por la Administración central, para pasar luego a las autonómicas y locales, o bien comenzando por las obras de gran tamaño, para pasar luego a las de tamaño medio y pequeño, o bien ambas cosas simultáneamente. Más adelante, a medio plazo, también podría fomentarse la aplicación en la obra privada, estableciendo beneficios fiscales o subvenciones directas, solamente para las estructuras de hormigón ejecutadas con altos niveles de ICES. En caso de no establecerse ningún tipo de beneficio, esto también se podría realizar de manera progresiva, comenzando de nuevo por las obras de mayor tamaño. En todo caso, el lector debe tener en cuenta que estas exigencias no son demasiado importantes, comparadas con algunas que se plantean hoy en día en otros aspectos, por medio del Código Técnico de la Edificación.

Todo lo anterior promovería la difusión de la cultura del diseño sostenible, aumentando poco a poco el prestigio de aquellas estructuras de hormigón que acrediten un cierto nivel de ICES, del mismo modo que hoy en día están adquiriendo cada vez más popularidad en todo el mundo, los edificios certificados con los sistemas LEED y BREEAM de certificación de la sostenibilidad.

3.6 La incertidumbre y los procesos de gestión del objetivo de sostenibilidad

La EHE sólo aborda la manera de realizar los cálculos oportunos para determinar el ICES, sin apenas entrar en otras consideraciones. Por otro lado, dicho cálculo implica estimar variables relacionadas tanto con el proyecto como con la ejecución, existiendo incertidumbre acerca del posible valor final de muchas de ellas, incertidumbre que en algunos casos se prolonga casi hasta que termina la ejecución. El Anejo plantea la realización de una estimación inicial del ICES en el momento de redactar el proyecto, junto con un posterior cálculo del ICES definitivo, cuando la obra ha terminado. El lector familiarizado con la realidad de una obra, con la incertidumbre que la rodea y con los cambios o modificados que suelen surgir, comprenderá fácilmente que dicha dinámica llevará a sorpresas desagradables con bastante frecuencia. Para evitar que la probabilidad de incumplimiento del objetivo de sostenibilidad sea alta se necesita realizar una tarea continua de gestión de dicho objetivo, a todo lo largo del ciclo de vida del proyecto. Entre otras cosas, esto exige incorporar la incertidumbre a la evaluación, y MIVES es un método determinista. Para solucionar esto, algunos autores han propuesto combinar MIVES con métodos de simulación estocástica (del Caño, Gómez & de la Cruz, 2012; de la Cruz et al., 2014a), y con la aritmética difusa (de la Cruz et al., 2014b; del Caño et al., en prensa). A pesar de que el segundo método es de más sencilla implantación, es más novedoso y pudiera ser menos sencillo de explicar al profano. Por su parte, la simulación estocástica es más conocida en el sector de la construcción, y existe software gratuito que puede permitir, con cierto trabajo, realizar evaluaciones probabilistas de la sostenibilidad (por ejemplo UPC, 2015).

Además de lo anterior, y de la misma forma que en todo proyecto hay un proceso metodológico de gestión de los objetivos de alcance, plazo, coste y calidad (PMI, 2013), debe haber también un proceso de gestión del objetivo de sostenibilidad del proyecto.

3. Conclusiones

El actual modelo de evaluación de la sostenibilidad de la EHE, que ha tenido el mérito de ser el primero a nivel internacional, tiene diversos problemas. Algunos son meramente de tipo práctico, y otros de importancia variable, algunos de los cuales afectan de manera importante a la eficiencia de dicho modelo. Los actuales trabajos de redacción del nuevo Código Estructural español son el marco apropiado para solucionarlos.

En esta comunicación se han aportado diversas ideas, tanto para una mejora progresiva, como para un cambio radical. En opinión de los autores, como mínimo deberían resolverse los problemas menores identificados en el epígrafe 2, así como los identificados en los epígrafes 3.1 (ponderación de indicadores más ajustada a un ACV); 3.2 (nivel de exigencia); 3.3, solamente en lo relativo a incluir indicadores sociales de mayor importancia que los ya incluidos; 3.4, solamente en lo relativo a que el nuevo Código contemple, además del ICES, la posibilidad de comparar entre sí estructuras de diferentes materiales, en base a un ACV completo (ambiental, social y económico); 3.5, por lo menos en cuanto a que la Administración comience a aplicar el Anejo en obras importantes; y 3.6, simplemente recogiendo en el texto un aviso claro de la necesidad de tener en cuenta la incertidumbre y de realizar procesos eficaces gestión del objetivo de sostenibilidad, junto con unas explicaciones mínimas acerca de posibles maneras de hacerlo.

Referencias

- Aguado, A., del Caño, A., de la Cruz, M.P., Gómez, D., & Josa, A. (2011) Sustainability assessment of concrete structures: The EHE approach. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138 (2), 268-276.
- de la Cruz, M. P., Castro, A., del Caño, A., Gómez, D., Lara, M., & Cartelle, J. J. (2014a). *Comprehensive methods for dealing with uncertainty in assessing sustainability*. Part I: the MIVES-Monte Carlo method. In M. S. García-Cascales, J. M. Sánchez-Lozano, A. D. Masegosa & C. Cruz-Corona (Eds.), *Soft computing applications for renewable energy and energy efficiency*, (pp. 69-106). Hershey, PA: IGI-Global.
- de la Cruz, M. P., Castro, A., del Caño, A., Gómez, D., Lara, M., & Gradaille, J. J. (2014b). *Comprehensive methods for dealing with uncertainty in assessing sustainability*. Part II: the Fuzzy-MIVES method. In M. S. García-Cascales, J. M. Sánchez-Lozano, A. D. Masegosa & C. Cruz-Corona (Eds.), *Soft computing applications for renewable energy and energy efficiency*, (pp. 107-140). Hershey, PA: IGI-Global.
- del Caño, A, de la Cruz, M.P., Gómez, D., Pérez, M. Fuzzy method for analysing uncertainty in the sustainable design of concrete structures. *Journal of Civil Engineering and Management* (en prensa).
- del Caño, A., Gómez, D., & de la Cruz, M.P. (2012) Uncertainty analysis in the sustainable design of concrete structures: a probabilistic method. *Construction and Building Materials*, 37, December, 865–873
- Global Reporting Initiative (2015). Página Web de esta organización. <https://www.globalreporting.org/Pages/default.aspx>. Consultada en abril de 2015.
- Gómez, D. (2012). Proyecto sostenible de estructuras de hormigón. Evaluación de la sostenibilidad teniendo en cuenta la incertidumbre. Tesis Doctoral. Universidade da Coruña. http://kmelot.biblioteca.udc.es/search~S27*gag?/tPROYECTO+SOSTENIBILIDAD/tproyecto+sostenibilidad/-3%2C0%2C0%2CB/frameset&FF=tproyecto+sostenible+de+estructuras+de+hormigon+evaluacion+de+la+sostenibilidad+teniendo+en+cuenta+la+incertidumbre&1%2C1%2C/indexsort=

- Gómez, D., del Caño, A., & de la Cruz, M.P. (2013 enero-marzo). Estimación temprana del nivel de sostenibilidad de estructuras de hormigón, en el marco de la instrucción española EHE-08. *Informes de la Construcción*. CSIC. Instituto Eduardo Torroja. 65, nº 529. 65-76.,
- Gómez, D., de la Cruz, M.P., del Caño, & A., Arroyo, I. (2012a) Herramienta de cálculo para la evaluación de la sostenibilidad de estructuras de hormigón según la instrucción Española EHE-08. *Dyna*, 87(2), 180-189.
- Gómez, D., del Caño, A., de la Cruz, M.P., & Josa, A. (2012b) Metodología genérica para la evaluación de la sostenibilidad de sistemas constructivos. El método MIVES. Editor: A. Aguado. Asociación Científico-Técnica del Hormigón (ACHE) En: *Sostenibilidad y construcción*. Cap. 18,(pp. 385-411).
- Gómez, D., del Caño, A., de la Cruz, M.P., & Josa, A. (2012c) "Evaluación de la sostenibilidad en estructuras de hormigón y metálicas. La EHE y la EAE". Editor: A. Aguado. Asociación Científico-Técnica del Hormigón (ACHE). En: *Sostenibilidad y construcción*. Asociación Científico-Técnica del Hormigón (ACHE). Cap. 19, (pp. 413-439).
- GRIDP (2015a). Página Web del Grupo de Ingeniería y Dirección de Proyectos de la Universidad de La Coruña, en la cual se puede descargar la aplicación informática MIVES-EHE-08 para el cálculo del ICES según la EHE-08, y según otros modelos similares. <http://www.ii.udc.es/GRIDP/castellano/software.html>.
- GRIDP (2015b). Propuestas de mejora para el Anejo 13 de la EHE. Página Web del Grupo de Ingeniería y Dirección de Proyectos de la Universidad de La Coruña, en la cual se puede descargar este documento. <http://www.ii.udc.es/GRIDP/castellano/documentos.html>.
- Mel, J., del Caño, A., & de la Cruz, M.P. (2014a). Sostenibilidad en la fabricación de cemento en España: análisis del consumo energético y de las emisiones de CO₂. *Proceedings of the AEIPRO-IPMA 18th International Congress on Project Management and Engineering*, Alcañiz (Spain), 16-18 July, 2014, pp. 02-001-1/16.
- Mel, J., del Caño, A., & de la Cruz, M.P. (2014b). Sostenibilidad en la producción de árido granítico en el noroeste de España: consumo energético y emisiones de CO₂. *Proceedings of the AEIPRO-IPMA 18th International Congress on Project Management and Engineering*, Alcañiz (Spain), 16-18 July, 2014, pp. 02-002-1/12.
- Mel, J., del Caño, A., & de la Cruz, M.P. (2014c). Sostenibilidad en la fabricación de armaduras de acero en España: análisis del consumo energético y de las emisiones de CO₂. *Proceedings of the AEIPRO-IPMA 18th International Congress on Project Management and Engineering*, Alcañiz (Spain), 16-18 July, 2014, pp. 02-003-1/9.
- Mel, J., del Caño, A., & de la Cruz, M.P. (2014d). Sostenibilidad en la preparación y puesta en obra de hormigón en España: análisis de consumo energético y emisiones de CO₂. *Proceedings of the AEIPRO-IPMA 18th International Congress on Project Management and Engineering*, Alcañiz (Spain), 16-18 July, 2014, pp. 02-004-1/12.
- Ministerio de Fomento (2015a). Página Web del Ministerio de Fomento. Zona de descarga de la aplicación informática MIVES-EHE-08 para el cálculo del ICES según la EHE-08. http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/ORGANOS_COLEGIADOS/MASORGANOS/CPH/SOTENIB_ESTRUC/
- Ministerio de Fomento (2015b). Página Web del Ministerio de Fomento. Zona de descarga de la aplicación informática MIVES-EAE para el cálculo del ICESa según la EAE. http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/ORGANOS_COLEGIADOS/MASORGANOS/CPA/SOSTENIBILIDAD/
- Ministerio de la Presidencia (2008a). Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural (EHE-08). Boletín Oficial del Estado (BOE, Spain), Nº 203, 22 de agosto de 2008, (pp. 35176-35178). Anejo 13 de la Instrucción, pp. 487-504.

- Ministerio de la Presidencia (2008b). Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición. Boletín Oficial del Estado (BOE), N° 38, 13 de febrero de 2008, (pp. 7724-7730).
- Ministerio de Medio Ambiente (2008). Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos. Boletín Oficial del Estado (BOE), N° 23, 26 de enero de 2008, (pp. 4986-5000).
- PMI (2013), A Guide to the Project Management Body of Knowledge Fifth Edition (PMBok Guide), *Project Management Institute Standards Committee* (Editor). Project Management Institute, Newtown Square, Pennsylvania, USA.
- Rodríguez, F. (abril de 2008). Prólogo del número monográfico de la revista Cemento y Hormigón dedicado al Anejo 13 de la EHE. *Cemento y hormigón*, N° 913.
- UPC (2015). Página Web de la Universidad Politécnica de Cataluña en la cual se puede descargar dicho software. <http://www.etcg.upc.edu/prj/mives/descargas>. Consultado en abril de 2015.