

# Guía y evaluación de la sostenibilidad en los Trabajos de Fin de Grado

<sup>1</sup>Fermín Sánchez, <sup>1</sup>Jordi Garcia, <sup>2</sup>Eva Vidal, <sup>1</sup>David López, <sup>1</sup>Jose Cabré, <sup>1</sup>Helena García  
y <sup>1</sup>Marc Alier

<sup>1</sup>Facultat d'Informàtica de Barcelona

<sup>2</sup>Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Telecomunicació de Barcelona  
Universitat Politècnica de Catalunya

Barcelona

fermin@ac.upc.edu, jordig@ac.upc.edu, eva.vidal@upc.edu, david@ac.upc.edu,  
jose.cabre@upc.edu, helena.garcia@est.fib.upc.edu, ludo@essi.upc.edu

## Resumen

El futuro será sostenible o no será. Por eso, es fundamental que todos los Trabajos de Fin de Grado (TFG) incorporen un estudio de sostenibilidad que analice su impacto ambiental, social y económico. Este análisis es importante en todas las disciplinas de la ciencia, pero más si cabe en las relacionadas con las TIC, ya que pueden mejorar significativamente la sostenibilidad en otros campos de la ciencia.

En este trabajo se propone una metodología para guiar al estudiante en la realización del análisis de sostenibilidad de su TFG. Consideramos que la existencia de una guía al respecto es fundamental debido a la poca formación en sostenibilidad de los estudiantes. La guía no sólo proporciona ayuda a los estudiantes a la hora de realizar su proyecto, sino también a los profesores a la hora de evaluarlo.

La propuesta está basada en una matriz ponderada cuyas celdas contienen preguntas que el estudiante debe plantearse mientras realiza su proyecto. La matriz está inspirada en la matriz del bien común de Felber y en el método socrático, y es una evolución de anteriores trabajos presentados en JENUI.

## Abstract

Future will be sustainable or it won't be at all. That's why it is essential that all final degree projects include a sustainability study which analyses its environmental, social and economic impact. This analysis is important in every scientific discipline, but even more in those related to IT, for they can significantly make a positive impact on sustainability in other scientific fields.

This paper proposes a methodology to guide the student during the sustainability analysis of its final degree project. We consider that the existence of such guide is fundamental because the little amount of time that is, in general, used to teach sustainability to

students. The guide not only helps the students when doing the project, but also the teachers when assessing it.

The proposal is based on a weighted matrix which cells contain questions that the student has to think about while doing the project. The matrix is inspired in the common good matrix of Felber and on the Socratic methodology, and it's a step forward over previous JENUI papers.

## Palabras clave

Evaluación TFG, sostenibilidad TFG, matriz TFG

## 1. Motivación

La introducción de las competencias transversales en el Espacio Europeo de Educación Superior ha propiciado la introducción de algunos temas en los planes de estudios de carreras TIC que habían sido habitualmente olvidados o ignorados.

Una de las competencias incluidas en la mayoría de los planes de estudios es la "Sostenibilidad y Compromiso Social" (SyCS) que, con diferentes nombres, encontramos en muchas titulaciones. Sin embargo, a pesar de que hay un amplio consenso en que la sostenibilidad es uno de los grandes problemas del siglo XXI, y que el futuro será sostenible o simplemente no será, esta competencia parece de las más complicadas de introducir en los planes de estudios debido la poca o nula formación del profesorado en este tema, que podría parecer más una opción personal que una competencia que deba introducirse en unos estudios de grado. Sin embargo, que nuestros egresados adquieran formación en SyCS no es sólo necesario, sino imprescindible.

La Escuela de Arquitectura de Vallés (EAV) de la Universidad Politècnica de Catalunya (UPC) elaboró un informe [8] que demuestra la importancia de la formación en sostenibilidad. Según el informe, la

construcción del edificio de la escuela generó una contaminación equivalente a 150 Toneladas de CO<sub>2</sub> (TCO<sub>2</sub>), mientras que los servicios del edificio (iluminación, calefacción, etc.) generan anualmente el equivalente a 370 TCO<sub>2</sub>. Así que no importa cuán óptima sea la construcción del edificio si este no ha sido diseñado para tener un consumo responsable. Por tanto, es más importante considerar la sostenibilidad de la vida útil del edificio que la de su construcción. Si extrapolamos esta información a un proyecto de ingeniería, vemos que considerar la sostenibilidad del proyecto durante toda su vida útil puede ser más importante que considerar la sostenibilidad de su diseño, construcción y puesta en marcha.

Por otra parte, la EAV se halla en las afueras de la ciudad y no está tan bien comunicada como si estuviera en el centro. Esto provoca desplazamientos de sus usuarios que representan, anualmente, un total de 750 TCO<sub>2</sub>. Es decir, que una ubicación distinta o disponer de un sistema público de transporte más sostenible tendrían más impacto en la “sostenibilidad de la escuela” que hacer más sostenible la construcción del edificio o su uso cotidiano.

Sin embargo, el número más impactante del estudio se descubre cuando se evalúa el impacto ambiental que producirán los egresados de la escuela, que se calculó que diseñarían edificios que consumirán anualmente más de 2.250.000 TCO<sub>2</sub>. Es decir, que una educación que integrase la sostenibilidad tendría un impacto muchísimo más grande que el mejor diseño que se pudiera hacer de la escuela.

Por lo tanto, para un ingeniero la sostenibilidad no es una opción personal, es una necesidad profesional. Por mucho que un ingeniero/a actúe de forma sostenible como individuo, separe basuras, recicle, se mueva en transportes poco contaminantes o colabore con una ONG, es en la aplicación de su actividad profesional como ingeniero como más impacto puede tener en la sociedad y en el medio ambiente. Por ello, la competencia SyCS debe incorporarse en los estudios de informática y telecomunicaciones.

Además, el consumo de las TIC supone entre un 2 y un 3% de las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub>, pero el uso de las TIC puede contribuir a reducir el 98% del consumo de otras actividades industriales [15]. Por ello, es fundamental que los ingenieros del área sean conscientes del impacto que su trabajo puede tener a la hora de hacer el mundo más sostenible.

Varios trabajos presentan la implementación de la competencia SyCS en asignaturas o en el plan de estudios de diferentes ingenierías [4, 6, 7, 11, 14, 19, 20]. Sin embargo, es en el Trabajo de Final de Grado (TFG) donde es más crucial. Como otros autores [16], pensamos que es en el TFG donde mejor se pueden practicar competencias como la sostenibilidad. El TFG debe ser el lugar donde el estudiante integre los

conocimientos adquiridos en la carrera en un proyecto que sea un ejemplo de metodología de trabajo.

Este artículo presenta el trabajo realizado por el grupo STEP de la FIB durante los tres últimos años para definir una guía que permita considerar y evaluar la sostenibilidad de un TFG.

El resto del artículo se organiza de la siguiente forma. La Sección 2 describe el trabajo previo desarrollado por el grupo STEP. La Sección 3 discute las diferencias entre un TFG y un proyecto de ingeniería y la influencia que estas diferencias suponen para nuestra investigación (diferencia no trivial y motivo de meses de discusión). La Sección 4 introduce la propuesta de guía para introducir y evaluar la sostenibilidad de un TFG. Las secciones 5 y 6 presentan nuestras discusiones y conclusiones.

## 2. Trabajo previo

El grupo STEP investiga desde hace años en cómo integrar la sostenibilidad en unos estudios de Ingeniería en el ámbito de las TIC. En el año 2009 se elaboró una propuesta general de desarrollo de esta competencia en los estudios superiores de informática [12,17] para formar en sostenibilidad al profesorado; en concreto, en la creación de materiales y en métodos para evaluarla. También se argumentó la ventaja de introducir SyCS en la mayoría de las asignaturas frente a la opción de crearlas específicas.

Como una de las dificultades de introducir SyCS en los planes de estudios es el desconocimiento del área por parte del profesorado, se diseñó una base de conocimiento [3] que reuniese desde artículos científicos hasta experiencias que relacionasen la sostenibilidad con diferentes áreas de la ingeniería informática. De esta manera, se podía dar soporte y ayudar a complementar las asignaturas que trabajasen esta competencia. También se redactó un capítulo de un libro para orientar a los profesores TIC en cómo introducir la sostenibilidad en sus asignaturas [2].

Dada la dificultad que suponía para el estudiante integrar SyCS en su TFG y la falta de experiencia del profesorado, decidimos elaborar una guía que sirviese a los estudiantes para analizar la sostenibilidad de sus TFGs y a los profesores para evaluar este análisis. Con el objeto de no establecer un modelo único y rígido que el alumno siguiese de manera estricta, en lugar de plantearse el caso particular de su TFG, se propuso un modelo de evaluación basado en el método socrático [18] que orientase al estudiante a hacer una reflexión crítica y meditada de su trabajo.

A partir de este estudio decidimos ampliar la visión hasta los proyectos de ingeniería en general, para así influir en el impacto del trabajo de nuestros egresados cuando se enfrenten a proyectos en el mundo real [5]. Finalmente, después de cinco años de experiencia en la integración de SyCS en el grado se hizo un análisis

retrospectivo [10], incidiendo en los mecanismos de organización y coordinación entre las asignaturas implicadas en la competencia SyCS y extrayendo las lecciones aprendidas de su implantación.

### 3. Trabajo de Fin de Grado vs Proyecto de Ingeniería

Los proyectos realizados por los ingenieros/as son la aplicación de los conocimientos que adquieren durante toda su formación y los hitos claves de su desarrollo profesional. La primera parte del ciclo de vida de un proyecto está constituida por el *Proyecto Puesto en Producción* (en adelante, PPP), que comprende la planificación, el desarrollo y la implantación, y termina cuando comienza la vida útil del proyecto. Un proyecto de ingeniería, sin embargo, puede acabar mucho antes, ya que está determinado por su alcance (pese a que el alcance de muchos proyectos es el PPP). Lo mismo sucede con un TFG, cuyo alcance puede no llegar a la implantación al estar limitado a un semestre. En general, un TFG supondrá menos trabajo que un proyecto de ingeniería, como muestra la Figura 1. En cualquier caso, el máximo alcance de un proyecto o de un TFG acabaría en la implantación, por lo que el concepto de PPP es más amplio que el de proyecto o el de TFG.

La cantidad de trabajo representada en la Figura 1 pretende ilustrar que la carga de trabajo es diferente en las distintas fases del proyecto, y en general es menor en un TFG que en un proyecto de ingeniería. No obstante, el TFG es un trabajo académico, y por lo tanto tiene asociado un trabajo “extra” que no estaría incluido en un proyecto real, como se muestra en la Figura 2. Este trabajo extra correspondería al dedicado a la evaluación, que si bien existe en un

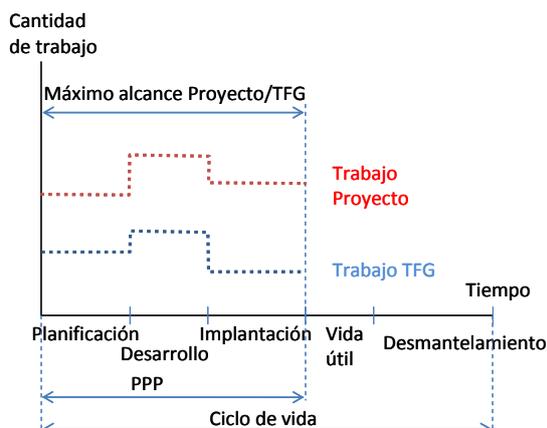


Figura 1: Ciclo de vida, PPP y fases de un proyecto vs cantidad de trabajo en Proyecto y TFG.

proyecto de ingeniería, es distinta de la que se realiza a nivel académico. La Figura 2 muestra un TFG cuyo alcance acaba antes de la implantación, y aún así

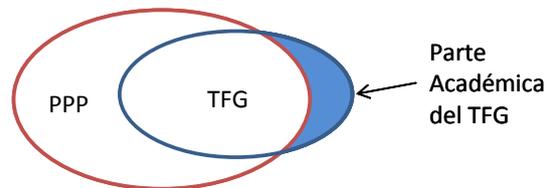


Figura 2: Trabajo extra en un TFG que no está en un proyecto de ingeniería (o en un PPP)

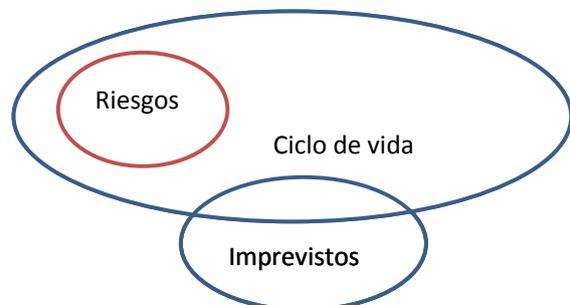


Figura 3: Riesgos vs imprevistos en un proyecto

contiene una parte de trabajo extra correspondiente a la evaluación que no estaría en el PPP.

Durante todas las fases del proyecto, pero en especial durante su vida útil, existen factores que son difíciles de controlar: los riesgos y los imprevistos. Los riesgos son inherentes al proyecto y condicionan las posibilidades de éxito de éste según se hayan tenido en cuenta (o no) en la planificación. Son variables que no se pueden controlar pero se pueden identificar. Por ejemplo, la dependencia de un proyecto de una o varias personas es un riesgo que, si bien se puede aceptar en algunos proyectos, puede provocar su fracaso si estas personas se marchan o reducen su nivel de implicación en el proyecto. Los imprevistos, sin embargo, no se pueden anticipar en la mayoría de ocasiones ya que están fuera del ciclo de vida esperado, como se muestra en la Figura 3. Se considera un riesgo, por ejemplo, si se diseña una aplicación móvil de venta online y la competencia decide copiar nuestra idea con una iniciativa similar. En cambio, sería un imprevisto que una ley estatal prohibiera a partir de la semana que viene las ventas a través de internet. En cualquiera de las fases de un proyecto, incluso fuera de su alcance, pueden existir riesgos, como muestra la Figura 4.

Los riesgos deben ser considerados y evaluados en términos de sostenibilidad en un proyecto, pues representan diferentes escenarios posibles que podrían afectar a su viabilidad. Los imprevistos quedan fuera del alcance de un TFG, y difícilmente podrían considerarse en un PPP.

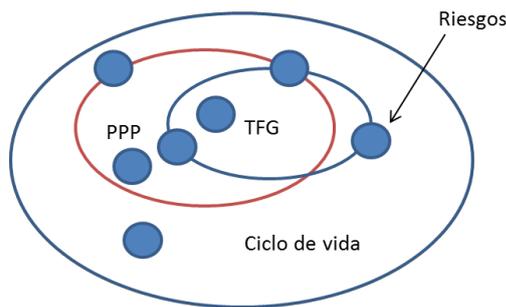


Figura 4: Riesgos en fases de un proyecto o TFG

Teniendo en cuenta estas consideraciones, la Sección 4 presenta una propuesta de evaluación de la sostenibilidad de un TFG o de un proyecto de ingeniería, independientemente de su alcance.

#### 4. Propuesta de evaluación

Siguiendo la filosofía de los trabajos previos descritos en la Sección 2, partimos de las siguientes premisas:

- La Tabla de sostenibilidad será una matriz ponderada como la que presenta Felber en la economía del bien común [9].
- La matriz servirá tanto de guía para el estudiante como de herramienta para la evaluación de la sostenibilidad del proyecto.
- Las celdas de la matriz estarán compuestas por preguntas, siguiendo el método socrático propuesto en [18].
- El estudiante debe usar la matriz como ayuda para razonar sobre la sostenibilidad de su TFG, y usar ese razonamiento para evaluarla.
- El razonamiento debe exponerse en un capítulo específico de la memoria del TFG, que sugerimos se denomine “Informe de sostenibilidad”.
- La evaluación (nota) de la sostenibilidad del TFG se realizará a partir del “Informe de sostenibilidad”. En ningún caso se usará como elemento de evaluación el grado de sostenibilidad de proyecto obtenido al evaluar la matriz. Dicho cálculo es un mero ejercicio para razonar sobre la sostenibilidad del TFG.

En la Sección 4.1 se justifica la propuesta de matriz de evaluación. La Sección 4.2 identifica en qué celdas de la matriz están las preguntas que el estudiante debe plantearse en cada momento del TFG. La Sección 4.3 describe brevemente cómo debe ser el “Informe de Sostenibilidad”.

##### 4.1. Matriz de Sostenibilidad

Cuando empezamos este trabajo pensábamos que el estudiante debía abordar de forma holística la

sostenibilidad de su TFG, y por eso consideramos que no era adecuado tener las tres dimensiones de la sostenibilidad (ambiental, económica y social) en uno de los ejes de la matriz. Sin embargo, la experiencia nos ha demostrado que los estudiantes de grado no están suficientemente formados al final de sus estudios para abordar este planteamiento. Han estudiado las tres dimensiones de la sostenibilidad por separado, y les resulta más natural analizarla de ese modo y no de una forma holística. Ese hecho nos ha llevado a reconsiderar nuestro planteamiento inicial y a plantear que uno de los ejes de la matriz esté formado por las tres dimensiones de la sostenibilidad. Cuando el estudiante haya madurado y haya hecho varios proyectos adquirirá, probablemente, la visión holística que deseamos, pero no la tiene en el momento de enfrentarse al TFG.

Con respecto al otro eje, en [13] proponíamos usar planificación-resultados-riesgos. La propuesta estaba fundamentada en que la mayoría de decisiones importantes de un proyecto se toman en la etapa de planificación, y es por tanto en ella donde el estudiante debe hacerse todas (o casi todas) las preguntas. Los resultados nos permitían valorar si los objetivos del proyecto se habían conseguido. Sin embargo, esta propuesta nos llevaba a “olvidar” la valoración de la vida útil del proyecto y el efecto de su desmantelamiento, ya que los resultados se ceñían a los observados al finalizar el alcance del TFG, que podía ser incluso mucho antes de su implantación. Los riesgos, por otra parte, nos siguen pareciendo importantes de cara a considerar posibles cambios en los escenarios en los que el proyecto se desenvolvería.

Decidimos, por lo tanto, mantener los riesgos y substituir la pareja planificación-resultados por PPP-vida útil. En esta propuesta, el PPP abarca las fases de planificación, desarrollo e implantación del proyecto (mostradas en la Figura 1), independientemente de cual sea su alcance, y la vida útil acaba cuando comienza su desmantelamiento. Por lo tanto, un proyecto (o TFG) quedaría enmarcado en la primera fila de la matriz, pero podría no cubrirla de forma completa, ya que su alcance puede acabar mucho antes de la implantación, como se muestra en la Figura 5. En el caso del TFG, el alcance está claramente limitado a lo que el estudiante pueda hacer en un curso académico, y en muchos casos no se llegará a su implantación.

Como alternativa, valoramos también la posibilidad de que la primera fila abarcara exclusivamente el alcance del proyecto, en lugar del PPP. Esta posibilidad presentaba un problema de cara a establecer las preguntas de cada celda, y es que en función del alcance algunas preguntas deberían ir en la primera fila o en la segunda (y no estaba claro cuál sería la segunda). Por ejemplo, un proyecto que acabe



Figura 5: Alcance del TFG en la propuesta de Matriz de guía y evaluación de la sostenibilidad.

en su fase de desarrollo (algo típico en los TFG) o que forme parte de un proyecto más grande, y que por lo tanto no llegue a implantarse, no podría tener en la primera fila las preguntas relativas a la implantación. Sin embargo, un proyecto cuyo alcance incluyese la implantación sí que las tendría. Para no complicar el planteamiento, decidimos acotar la primera fila a una etapa determinada de un proyecto, la implantación, y no a su alcance (que depende de cada proyecto).

La aproximación escogida nos permite definir además el concepto que representa cada celda de la matriz. Por ejemplo, en el caso de analizar el PPP, la columna “Ambiental” corresponde al consumo realizado durante el diseño, la realización y la puesta en marcha del proyecto; la columna “Económico” supone el coste total del proyecto (factura) y la columna “Social” es el impacto que ha tenido la realización del proyecto en el equipo que lo ha llevado a cabo. Al considerar la vida útil del proyecto, la columna “ambiental” se corresponde con la huella ecológica del proyecto, la columna “Económico” representa el plan de viabilidad y la columna “Social” identifica el impacto que el proyecto tendrá en la sociedad. Finalmente, en la fila “Riesgos” se detallan los riesgos que presenta el proyecto en cada una de las tres dimensiones de la sostenibilidad. La Figura 6 muestra estos conceptos, junto con la ponderación que hemos decidido para cada celda de la matriz.

La primera decisión ha sido que las dos primeras filas tendrán valores positivos, mientras que los

	Ambiental	Económico	Social
PPP	Consumo del diseño 0 : 10	Factura 0 : 10	Impacto Personal 0 : 10
Vida útil	Huella ecológica 0 : 20	Plan de viabilidad 0 : 20	Impacto social 0 : 20
Riesgos	Riesgos ambientales -20 : 0	Riesgos económicos -20 : 0	Riesgos sociales -20 : 0
Sostenibilidad	-20 : 30	-20 : 30	-20 : 30

Figura 6: Matriz de sostenibilidad del proyecto

riesgos tendrán valores negativos. En cuanto a la escala, para facilitar la evaluación de cada casilla hemos decidido usar una escala de 10 puntos que resulta fácil de valorar para prácticamente todo el mundo. No obstante, como ya se ha explicado en la Sección 1, generalmente la vida útil tendrá mucho más impacto en la sostenibilidad del proyecto que su diseño e implantación. Por otra parte, otras métricas para evaluar a partir de una matriz, como por ejemplo la matriz del bien común de Felber, dan más peso a los aspectos negativos que a los positivos para que las organizaciones traten de eliminar o reducir esos aspectos. Por ello, hemos decidido que para valorar el grado de sostenibilidad de un proyecto realizaremos una suma ponderada de sus filas, dando a la primera fila la mitad de la ponderación de las otras dos. Por lo tanto, con esta aproximación el resultado de evaluar la matriz se calcularía mediante la fórmula:

$$SyCS = PPP + 2 * \text{vida útil} - 2 * \text{Riesgos}$$

En conjunto, el rango de evaluar globalmente la matriz está entre -20 y 30 para cada columna, y entre -60 y 90 en total. Como puede observarse, no es un rango simétrico. Usar esta ponderación permitiría, por ejemplo, comparar todos los TFG de una determinada escuela. Sin embargo, es posible que en algunos proyectos de ingeniería la vida útil o los riesgos deban tener una ponderación distinta a la aquí propuesta, por lo que la variación de estos coeficientes permitiría adaptar la matriz a diferentes tipos de proyectos. Por ejemplo, los proyectos de Arquitectura podrían tener unos coeficientes distintos de los proyectos TIC, pero una vez definidos los coeficientes, los proyectos de un determinado tipo serían comparables entre sí.

Finalmente, un último aspecto que es interesante reflejar es que las valoraciones realizadas durante el alcance del proyecto son “medibles”, mientras que las que se hacen después sólo se pueden estimar (los riesgos, obviamente, son imprevisibles a menos que se conozca la probabilidad de que se produzcan). Este hecho hace que la fila correspondiente al PPP contenga valoraciones tanto medibles (las que están dentro del alcance) como estimables (las que están fuera), mientras que en el caso de la vida útil las

valoraciones son siempre estimables, tal como se muestra en la Figura 7. En el caso de haber escogido el alcance como frontera entre la primera fila y la segunda, la primera fila sería completamente medible. Pese a que en este caso resultaba más elegante escoger esta opción, al considerar globalmente todos los aspectos creemos más clara la propuesta presentada.

#### 4.2. Evaluación en 3 hitos

En la FIB (Facultat d'Informàtica de Barcelona) la evaluación del TFG se realiza en 3 hitos, siguiendo el modelo propuesto en la "Guía para la evaluación de competencias en los trabajos de Fin de Grado y Máster de las Ingenierías" [1]: el Hito Inicial, el Hito de Seguimiento y el Hito Final. El indicador correspondiente a sostenibilidad se evalúa en los Hitos Inicial y Final. Por lo tanto, es preciso determinar cuáles de las preguntas de cada celda deberá el estudiante plantearse en cada hito.

La selección de preguntas para los hitos Inicial y Final se ha hecho ad-hoc a partir de la lista de preguntas contenidas en la matriz. En una misma celda puede haber preguntas que vayan al Hito Inicial o al Hito Final. Hay preguntas, sin embargo, que consideramos deberían plantearse en un proyecto de ingeniería pero no son procedentes en un TFG. Estas preguntas se han identificado en la matriz, pero no se han asignado a ningún hito de evaluación.

Para seleccionar las preguntas que el estudiante debe plantearse en cada celda hemos partido también de nuestro trabajo anterior. Mapeando las preguntas que ya teníamos (y algunas nuevas) sobre la nueva matriz y aplicando el resultado a algunos TFG de nuestro centro hemos afinado el resultado. Hemos procurado que el número de preguntas de cada celda sea reducido. Para evaluar cada celda proponemos que inicialmente todas las preguntas tengan el mismo peso, pero dejamos a criterio del estudiante/ingeniero asignar pesos diferentes si lo justifica adecuadamente. La Figura 8 presenta la matriz de Sostenibilidad de un proyecto de ingeniería con la lista de preguntas propuesta. Las filas identificadas con "I" corresponden a preguntas del Hito Inicial, las marcadas con "F" al Hito Final y las señaladas con

	Ambiental	Económico	Social
PPP		Medible	
Vida útil		Estimable	
Riesgos		Imprevisible	

Figura 7: Aspectos medibles vs estimables del TFG

"P" a preguntas que deberían tenerse en cuenta en un proyecto de ingeniería, pero no en un TFG.

#### 4.3. Informe de autoevaluación

Nuestra propuesta es que el estudiante redacte un "Informe de sostenibilidad" de su TFG, que preferiblemente debería constituir un capítulo específico de la memoria. El informe tiene formato libre, ya que todos los proyectos son diferentes y pautarlo limitaría el estudio. En el informe se deben contestar de forma razonada las preguntas planteadas en la matriz, asignando una puntuación a cada celda y calculando la puntuación final de la matriz, que será el grado de sostenibilidad del TFG.

El "Informe de sostenibilidad" debe finalizar con una sección de "conclusiones", de unas 500 palabras de longitud, donde el estudiante realice una autoevaluación de su proyecto y exprese las conclusiones a las que ha llegado a partir de evaluar la matriz. Este autoinforme es lo que realmente tendrá impacto en su futura vida profesional, como se explica en la Sección 1 de este trabajo.

La evaluación de la sostenibilidad del TFG debe hacerse a partir del análisis realizado en el "Informe de sostenibilidad", y no debería tener correlación alguna con la puntuación obtenida en la matriz.

### 5. Discusión

¿Cómo se introduce la sostenibilidad en un Proyecto de Ingeniería? ¿Y en un TFG? Si no se hace correctamente puede significar un esfuerzo inútil o incluso contraproducente.

En primer lugar, el/la proyectista debe sentirse cómodo calculando la sostenibilidad del proyecto. Es importante que lo perciba como algo necesario y perfectamente integrado en el proyecto en sí. Si nos limitamos a ofrecer al alumnado una serie de ejemplos, probablemente se limitarán a escoger uno como modelo y a reproducirlo sin meditar, muchas veces considerando la sostenibilidad como un requisito académico del TFG y no como una necesidad profesional. Plantear una serie de preguntas orientadas a la reflexión, que no tengan una respuesta correcta o única, sino que requieran reflexionar y elaborar un informe razonado, es un buen principio, pero también debe ofrecerse un marco temporal. Si simplemente se pide un informe final, la mayoría de los proyectistas evaluarán la sostenibilidad al final del proyecto, cuando el objetivo debería ser intentar diseñar un proyecto sostenible desde el principio, no evaluar el grado de sostenibilidad del proyecto al final. Por eso, proponemos plantear preguntas orientadas en cada uno de los hitos de evaluación, intentando que el estudiante medite sobre cómo afectan las decisiones de diseño de cada fase a la fase posterior y al proyecto en general.

	Ambiental	Económico	Social
PPP	I ¿Has estimado el impacto ambiental que tendrá la realización del proyecto? ¿Te has planteado minimizar el impacto, por ejemplo, reutilizando recursos?	¿Has estimado el coste de la realización del proyecto (recursos humanos y materiales)?	¿Qué crees que te va a aportar a nivel personal la realización de este proyecto?
	F ¿Has cuantificado el impacto ambiental de la realización del proyecto? ¿Qué medidas has tomado para reducir el impacto? ¿Has cuantificado esta reducción?	¿Has cuantificado el coste (recursos humanos y materiales) de la realización del proyecto? ¿Qué decisiones has tomado para reducir el coste? ¿Has cuantificado este ahorro?	¿La realización de este proyecto ha implicado reflexiones significativas a nivel personal, profesional o ético de las personas que han intervenido?
	P Si hicieras de nuevo el proyecto, ¿podrías realizarlo con menos recursos?	¿Se ha ajustado el coste previsto al coste final? ¿Has justificado las diferencias (lecciones aprendidas)?	
	P ¿Cuál es la procedencia de las materias primas y/o materiales usados? ¿Su origen, desarrollo y/o fabricación es ético (condiciones de trabajo, riesgos laborales, etc)? ¿Y lo es su empresa extractiva, fabricante o distribuidora?	¿La inversión inicial del proyecto permitirá que sea competitivo?	¿Cuál es la situación social y política del país/lugar/ciudad... donde se implantará el proyecto? ¿Y la del sector en el que se incluye el proyecto?
Vida útil	I ¿Cómo se resuelve actualmente el problema que quieres abordar (estado del arte)? ¿En qué mejorará ambientalmente tu solución a las existentes?	¿Cómo se resuelve actualmente el problema que quieres abordar (estado del arte)? ¿En qué mejorará económicamente tu solución a las existentes?	¿Cómo se resuelve actualmente el problema que quieres abordar (estado del arte)? ¿En qué mejorará socialmente (calidad de vida) tu solución a las existentes?
	F ¿Qué recursos estimas que se usarán durante la vida útil del proyecto? ¿Cuál será el impacto ambiental de estos recursos?	¿Qué coste estimas que tendrá el proyecto durante su vida útil? ¿Se podría reducir este coste para hacerlo más viable?	¿Quiénes se beneficiarán del uso del proyecto? ¿Hay algún colectivo que puede verse perjudicado por el proyecto? ¿En qué medida?
	F ¿El proyecto permitirá reducir el uso de otros recursos? ¿Globalmente, el uso del proyecto mejorará o empeorará la huella ecológica?	¿Se ha tenido en cuenta el coste de los ajustes/actualizaciones/repificaciones durante la vida útil del proyecto?	¿En qué medida soluciona el proyecto el problema planteado inicialmente?
	P ¿Se ha previsto alguna forma de medir el impacto ambiental del proyecto? ¿Se realizará seguimiento de este impacto ambiental?	¿Se ha previsto alguna forma de medir el impacto económico del proyecto? ¿Se realizará seguimiento de este impacto?	¿Se ha previsto alguna forma de medir el impacto social del proyecto? ¿Se realizará seguimiento de este impacto?
Riesgos	P Cuando finalice la vida útil del proyecto, ¿qué residuos se generarán? ¿Se puede reducir el impacto ambiental de la desmantelación?	¿Has realizado un estudio de viabilidad del proyecto?	¿Cómo afectará el desmantelamiento del proyecto a los colectivos relacionados con él?
	F ¿Se podría hacer el proyecto de forma que el impacto ambiental fuese menor?	¿El desmantelamiento del proyecto puede provocar costes adicionales?	¿Se podría realizar el proyecto con una menor afectación social?
	F ¿Podrían producirse escenarios que hicieran aumentar la huella ecológica del proyecto?	¿Podrían producirse escenarios que perjudicasen la viabilidad del proyecto?	¿Podrían producirse escenarios que hiciesen que el proyecto fuese perjudicial para algún segmento particular de la población?
P	¿Se podría prevenir o mitigar el impacto de posibles escenarios que pudieran aumentar la huella ecológica del proyecto?	¿Se podría prevenir o mitigar el impacto de posibles escenarios que pudieran perjudicar la viabilidad del proyecto?	¿Se podría prevenir o mitigar el impacto de posibles escenarios que pudieran perjudicar algún colectivo social directa o indirectamente relacionados con el proyecto?

Figura 8: Matriz de sostenibilidad de un proyecto de ingeniería TIC

Es importante no dejar sólo al estudiante en su reflexión. Una herramienta como la matriz de sostenibilidad permite organizar y estructurar el "Informe de sostenibilidad". Lo que hay que evaluar como sostenibilidad del TFG es el propio informe, ya que es en él donde planteará las implicaciones de su proyecto, y no la evaluación numérica resultante de la matriz. No hemos de olvidar que nuestro objetivo real no es que el proyecto sea muy sostenible, sino que el estudiante aprenda a integrar la sostenibilidad en los proyectos como una parte esencial de los mismos.

Por ello, también conviene separar el proyecto (que puede ser muy grande y se puede participar en sólo una parte) del TFG, que es un trabajo académico, limitado en tiempo, recursos y profundidad. El alumnado debe tener claro que ha de centrarse en el TFG (incluyendo la sostenibilidad), que es por lo que será evaluado. Sin embargo, debe también aprender que hacer de manera sostenibilista una parte de un proyecto no sostenible no soluciona gran cosa. Por ello buscamos que no sólo medite en su parte del

proyecto, sino en la totalidad. Aunque ahora sólo se centre en una parte bajo la supervisión de su director, el día de mañana será él/ella quien diseñe grandes proyectos, y debe hacerlo con la visión puesta en la sostenibilidad global, aunque delegue la sostenibilidad de cada parte en el resto del equipo.

## 6. Conclusiones

El futuro necesita que los habitantes que compartimos este planeta empecemos a pensar y actuar de una manera sostenible. Un ingeniero puede contribuir mucho más a hacer el mundo más sostenible durante el ejercicio de su profesión que en su vida personal. La integración de la sostenibilidad como parte del trabajo diario del ingeniero es un hábito que debe adquirirse durante su formación, y uno de los momentos más importantes es el Trabajo de Final de Grado. Hemos presentado aquí una metodología para introducir la sostenibilidad en los proyectos de ingeniería del área TIC, y en particular en el TFG, que se usa en la FIB.

Nuestra metodología busca ser simple y provocar la reflexión del estudiante. Si el método es complicado, no está bien organizado o es irreal, el alumnado se limitará a hacer un informe de sostenibilidad para salir del paso, sin interiorizar los conceptos asociados. Queda como trabajo futuro estudiar la calidad de los informes de sostenibilidad de los TFG dentro de unos años y, si es posible, analizar el grado de sostenibilidad de los proyectos en que participan nuestros egresados, que sería lo que realmente marcará el impacto de esta propuesta. Porque el futuro será sostenible o no será.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido subvencionado por el CCD de la UPC a través del proyecto S002-2014.

## Referencias

- [1] Guia per a l'avaluació de competències als treballs de final de grau i de màster a les Enginyeries, 2009 [en línea]. [http://www.aqu.cat/doc/doc\\_21214293\\_1.pdf](http://www.aqu.cat/doc/doc_21214293_1.pdf) Última consulta, mayo 2015.
- [2] M. Alier, D. López, J. Garcia y F. Sánchez. Tecnología i Sostenibilitat [en línea]. Les TIC i la Sostenibilitat. 2011 E. Carrera y J. Segalás, editores. Editorial. U. Politècnica de Catalunya. Càtedra UNESCO de Sostenibilitat. Cap. 33. <https://tecnologiaisostenibilitat.cus.upc.edu/coltinguts/les-tic-i-la-sostenibilitat>. Última consulta, mayo 2015
- [3] M. Alier, D. López, F. Sánchez, J. Garcia, J. Piguillem and M. Velasco. Using a crowdsourcing knowledge base to support the Social Compromise and Sustainability skill in Computer Science Engineering Studies. WSKS 2011. Mykonos, Greece. Sep. 2011.
- [4] W. Z. Bernstein, D. Ramanujan, Fu Zhao, K. Ramani and M. F. Cox. "Teaching Design for Environment through Critique within a Project-Based Product Design Course". Int. J. of Engineering Education 28(4):1-12. 2012.
- [5] J. Cabré, J. Garcia, H. Garcia, D. López, F. Sánchez, E. Vidal y M. Alier. La sostenibilidad en los proyectos de ingeniería. ReVisión, Vol 6, Num. 2. pp. 91-100, septiembre 2013.
- [6] B.A. Christie, K.K. Miller, R.Cooke and J.G. White. "Environmental sustainability in higher education: how do academics teach?" Environmental Educ. Research 19(3): 2013.
- [7] E. J. Coyle, L. H. Jamieson and W. C. Oakes. "EPICS: Engineering Projects in Community Service". Int'l J. of Engin. Educ 21(1) 2005.
- [8] A. Cuchí, I. López. "Informe MIES. Una Aproximació a l'impacte ambiental de l'Escola d'Arquitectura del Vallés". [en línea]: <http://www.upc.edu/sostenible2015/ambits/la-gestio-interna/energia-i-aigua/mies.pdf>. Última consulta, mayo 2015.
- [9] C. Felber. Die Gemeinwohl-Ökonomie – Das Wirtschaftsmodell der Zukunft. 2010.
- [10] J. García, F. Sánchez, D. López, E. Vidal, J. Cabré, H. Garcia y M. Alier. De la teoría a la práctica: cinco años después de la integración de la competencia genérica de sostenibilidad en el Grado en Ingeniería Informática. JENUI 2014. Páginas 253-260. Oviedo, Julio de 2014.
- [11] Stefan Gößling-Reisemann and Arnim Von Gleich. "Training Engineers for Sustainability at the University of Bremen". Int. J. of Engineering Educ. 23(2) 2007, pp. 301-308.
- [12] D. López, F. Sánchez, J. Garcia, M. Alier, J. Piguillem, and M. Velasco. Introducing Sustainability and Social Commitment Skills in an Engineering Degree. FIE2011. Rapid City, (USA), October 12-15, 2011.
- [13] D. López, F. Sánchez, E. Vidal, J. Pegueroles, M. Alier, J. Cabré, J. Garcia and H. Garcia. A methodology to introduce sustainability into the Final Year Project to foster sustainable engineering projects. FIE 2014. Madrid, Spain, October 23-25, 2014, pp 2360-2366.
- [14] R. G. McLaughlan. "Instructional Strategies to Educate for Sustainability in Technology Assessment". Int'l J. of Engineering Education 23(2) 2007, pp. 201-208.
- [15] S. Ruth. "Green IT - More Than a Three Percent Solution". IEEE Internet Computing 13(4):74-78, July/August 2009.
- [16] J.L. Sánchez, C. S. González, and S. Alayon. Evaluation of transversal competences in the final year project in engineering. 22nd EAEEIE Annual Conference, June, 2011.
- [17] F. Sánchez, D. López, J. García. El desarrollo de la competencia Sostenibilidad y Compromiso Social en la Facultat d'informàtica de Barcelona. JENUI'2010, Santiago de Compostela, Julio 2010.
- [18] F. Sánchez, J. García, D. López, M. Alier, J. Cabré, H. Garcia y E. Vidal. El método socrático como guía del Trabajo de Fin de Grado. ReVisión, Vol 8, Num. 1. pp. 53-62, septiembre 2013.
- [19] T. J. Siller. "Sustainability and critical thinking in civil engineering curriculum". J. of Prof. Issues in Engineering Education and Practice, 127(3), 2001, pp. 104-108.
- [20] E.K.L. Tam. "Developing a Sustainability Course for Graduate Engineering Students and Professionals". Int. J. of Engineering Education. 23(6) 2007, pp. 1133-11