

# Guía del estudiante para elaborar el informe de sostenibilidad del TFG

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

<sup>1</sup>Facultat d'Informàtica de Barcelona; <sup>2</sup>Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Telecomunicació de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya

fermin @ac.upc.edu, jose.cabre @upc.edu, jordig @ac.upc.edu, eva.vidal @upc.edu, david @ac.upc.edu, ludo @essi.upc.edu, martin @essi.upc.edu

## Resumen

Este artículo presenta una guía para ayudar a los ingenieros a diseñar y desarrollar proyectos sostenibles. Esta guía es la culminación de siete años de trabajos publicados en JENUI. La guía ha sido diseñada para introducir y evaluar la sostenibilidad de los proyectos de ingeniería en general, pero en este trabajo se presenta su aplicación al Trabajo Final de Grado. Esta herramienta no es simplemente una guía para ayudar a los estudiantes a introducir y estimar la sostenibilidad de sus proyectos, sino que también es útil para ayudar a los profesores a realizar la evaluación.

La guía se basa en el método socrático y consiste en una matriz en la que cada celda contiene varias preguntas que los estudiantes deben considerar durante el desarrollo del proyecto, y a las que deben responder en el informe final. A cada celda de la matriz se le otorga una valoración, y la suma de todos los valores refleja la sostenibilidad del proyecto. El resultado no es simplemente un número, ya que el estudiante debe escribir un análisis de sostenibilidad en el que responde a todas las preguntas de la matriz de forma justificada.

Se ha realizado una prueba piloto con algunos estudiantes y se han obtenido buenos resultados, pero el primer Trabajo Final de Grado que usará la metodología propuesta se leerá en julio de 2016.

## Abstract

This paper presents a guide to help engineers to design and develop sustainable projects. The guide is the culmination of previous studies published over the last seven years in JENUI. The guide has been designed to introduce and evaluate the sustainability of engineering projects in general, but here we present how it can be applied to the final project of an engineering degree. This tool is a guide for students

to introduce and estimate the sustainability of their projects, but it also helps teachers to assess them.

The guide is based on the Socratic Methodology and consists of a matrix where each cell contains several questions that students must consider during the project development and which they must answer in their project report. A positive or negative mark is assigned to every cell, and the sum of all marks states the project sustainability. However, the result is not as simplistic as a final number, but a descriptive sustainability analysis where all questions are answered and every mark justified.

A pilot test with some students has obtained good results, but the first Final Degree Project using the proposed methodology will be read in July 2016.

## Palabras clave

Sostenibilidad, Trabajo Final de Grado, Guía del estudiante, Matriz de sostenibilidad, Método Socrático.

## 1. Motivación

La sostenibilidad es una competencia aparentemente difícil de introducir y evaluar en unos estudios de ingeniería debido a la falta de experiencia de gran parte del profesorado en este tema. No obstante, es una competencia fundamental para un ingeniero, ya que el futuro será sostenible o no será.

La Comisión Brundtland<sup>1</sup>, en 1987, y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas<sup>2</sup>, en 2015, identifican la protección del medio ambiente, la igualdad social y el crecimiento económico como los pilares sobre los que se basa el desarrollo sostenible.

<sup>1</sup> [www.un-documents.net/our-common-future.pdf](http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf). Última consulta mayo 2016.

<sup>2</sup> [www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/](http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/). Última consulta mayo 2016.

La conciencia en sostenibilidad es una de las habilidades profesionales requeridas por el sistema de acreditación ABET<sup>3</sup>, introducido en la formación de ingenieros de Estados Unidos en la década de 1990. ABET introdujo un cambio significativo en los criterios necesarios para acreditar un programa de ingeniería. Entre estos criterios está tener una comprensión de la responsabilidad ética y profesional y una amplia comprensión del impacto que tienen las soluciones de ingeniería sobre el contexto global, económico, ambiental y social.

En Europa, el proyecto Tuning<sup>4</sup> se inició en 2000 y se centra en el diseño de una metodología que favorece la comprensión del plan de estudios para su normalización entre las distintas universidades. Tuning propone la adquisición de 31 competencias genéricas, ocho de las cuales están directamente relacionados con la sostenibilidad.

Existen en la literatura muchas y variadas propuestas sobre cómo introducir y evaluar la sostenibilidad en la educación superior, y en concreto en unos estudios de ingeniería. Sin embargo, la mayoría de ellas se centran en cómo trabajar la sostenibilidad y pocas detallan cómo evaluar este trabajo. Por esta razón, Rao et Al. [2] señalan la inexistencia de herramientas que permitan a los profesores realizar una evaluación rigurosa del éxito en la educación para la sostenibilidad.

En la Facultat d'Informàtica de Barcelona (FIB) se ha hecho un gran esfuerzo por introducir la sostenibilidad en el Grado en Ingeniería Informática, y el estudiante debe demostrar que la ha adquirido durante la realización de su TFG. Por ello, el TFG se evalúa en tres hitos, tal como recomienda la "Guía de Evaluación de los Trabajos de Final de Grado y de Master de las Ingenierías<sup>5</sup>": Inicial, de Seguimiento y Final.

Para evaluar el Hito Inicial se ha diseñado una asignatura semipresencial de Gestión de Proyectos (GEP) de 3 créditos donde el estudiante recibe formación general sobre el tema y pone en marcha su TFG. Como parte de esta asignatura, el estudiante debe usar la guía presentada en este artículo para introducir y evaluar la sostenibilidad de su TFG. Esta evaluación se realiza en el Hito Inicial a través de GEP, y en el Hito Final a través de la memoria del TFG. Las siguientes secciones presentan esta guía.

## 2. Guía del estudiante: Introducción

En este documento se presentan un conjunto de recomendaciones para orientar al estudiante a enfocar

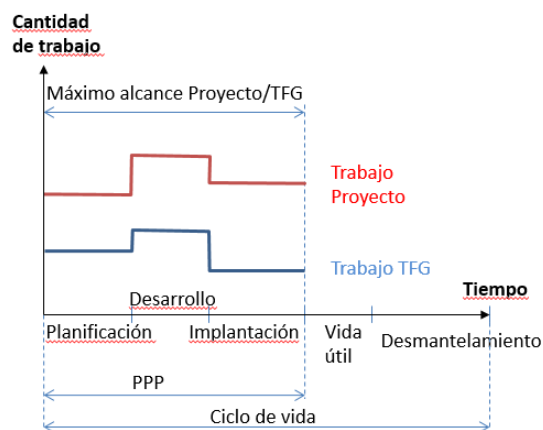


Figura 1: Ciclo de vida de un proyecto.

el análisis de sostenibilidad de su proyecto. Estas recomendaciones podrá aplicarlas posteriormente durante toda su vida profesional como ingeniero/a.

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 y diseño, el desarrollo y la implantación del proyecto, y termina cuando comienza su vida útil (fase de explotación). Un proyecto de ingeniería, sin embargo, puede acabar mucho antes, ya que está limitado 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 hasta la implantación al estar limitado a un semestre de duración.

En general, un TFG supondrá menos trabajo que un proyecto de ingeniería, como se muestra en la Figura 1, por lo que el concepto de PPP es más amplio que el de proyecto o el de TFG. En cualquier caso, el máximo alcance de un proyecto de ingeniería y el de un TFG acabarían en su implantación.

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, la cantidad de trabajo asignada a las fases de planificación, desarrollo e implantación en la figura son simplemente un ejemplo y no son indicativas del trabajo real en las fases de un proyecto.

## 3. Guía del estudiante: El Informe de Sostenibilidad del TFG

Todos los TFGs presentados en la FIB deben incluir en su memoria final un capítulo titulado "Informe de Sostenibilidad". Dada la naturaleza diversa de los TFGs, este informe no puede ser definido de

<sup>3</sup> "Accreditation Criteria". Accreditation Board for Engineering and Technology, Inc. <http://www.abet.org>. Última consulta mayo 2016.

<sup>4</sup> <http://tuning.unideusto.org/tuningal/>. Última consulta mayo 2016.

<sup>5</sup> [http://www.aqu.cat/doc/doc\\_21214293\\_1.pdf](http://www.aqu.cat/doc/doc_21214293_1.pdf). Última consulta, mayo 2016

|                      |                    |                    |                     |
|----------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
|                      | PPP                | Vida Útil          | Riesgos             |
| Ambiental            | Consumo del diseño | Huella Ecológica   | Riesgos ambientales |
|                      | 0 : 10             | 0 : 20             | -20 : 0             |
| Económico            | Factura            | Plan de viabilidad | Riesgos económicos  |
|                      | 0 : 10             | 0 : 20             | -20 : 0             |
| Social               | Impacto Personal   | Impacto social     | Riesgos sociales    |
|                      | 0 : 10             | 0 : 20             | -20 : 0             |
| Rango Sostenibilidad | 0 : 30             | 0 : 60             | -60 : 0             |
|                      | (-60 : 90)         |                    |                     |

Figura 2: Matriz de Sostenibilidad del TFG.

forma precisa, por lo que en este documento se proporcionan un conjunto de orientaciones para ayudar al estudiante a plantear dicho informe. Una parte del informe debe, además, presentarse en GEP.

### 3.1. La Matriz de Sostenibilidad

El análisis de la sostenibilidad del proyecto se divide en tres partes, identificadas por las columnas de la matriz que se muestra en la Figura 2:

- El proyecto puesto en Producción (PPP), que incluye la planificación y diseño, el desarrollo y la implantación del proyecto.
- La vida útil o fase de explotación del proyecto, que empieza una vez implantado y acaba con su desmantelamiento.
- Los riesgos inherentes al propio proyecto durante toda su construcción y su explotación.

Cada una de las columnas se ha de analizar desde tres puntos de vista: el económico, el social y el ambiental, las tres dimensiones de la sostenibilidad.

Cuando hablamos de riesgos –que no de imprevistos<sup>6</sup>– nos referimos a aquellas variables que, aun pudiendo condicionar el éxito o fracaso del proyecto, podemos identificar pero no podemos controlar. 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 de la organización 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 y por lo tanto no se tendrán en cuenta en el informe de sostenibilidad.

La Matriz de Sostenibilidad de la Figura 2 está basada en las ideas de “La economía del bien común”, de Christian Felber [1]. Puede encontrarse una explicación detallada de la matriz en [4] y un ejemplo de

aplicación a un gran proyecto de ingeniería (el diseño de la Estrella de la Muerte de *Star Wars* usando criterios sostenibles) en [5]. El significado de cada una de las celdas de la matriz es el siguiente:

- Celda Ambiental/PPP: representa el consumo energético y de recursos realizado durante la realización de todo el proyecto (del TFG, en el caso de este documento) y el impacto que dicho consumo tendrá sobre el medio ambiente. Se puede medir, por ejemplo, en toneladas de CO<sub>2</sub> (TCO<sub>2</sub>).
- Celda Ambiental/Vida Útil: representa la huella ecológica del proyecto durante su vida útil.
- Celda Ambiental/Riesgos: representa el conjunto de eventualidades que podrían causar que el impacto ambiental del proyecto sea más negativo del inicialmente previsto en el proyecto.
- Celda Económico/PPP: representa el consumo de recursos (materiales y tiempo) realizado durante la realización de todo el proyecto, y el coste de dichos recursos. Sería el equivalente a la factura que se cobraría a un potencial cliente del proyecto y requiere la realización de una planificación temporal detallada del TFG.
- Celda Económico/Vida Útil: representa el plan de viabilidad del proyecto. En el caso de un TFG, este plan se planteará de una forma muy superficial.
- Celda Económico/Riesgos: representa el conjunto de eventualidades que podrían causar que el proyecto tardase más tiempo del previsto en alcanzar la viabilidad económica o incluso que no llegase nunca a ser rentable.
- Celda Social/PPP: representa el impacto que la realización del proyecto ha tenido sobre las personas que han trabajado en él. En el caso del TFG, se trata de indicar las reflexiones y cambios que la realización del proyecto han provocado en el estudiante.
- Celda Social/Vida Útil: representa el impacto que la puesta en marcha del proyecto tendrá sobre los colectivos relacionados con el proyecto, ya sea de forma directa o indirecta.
- Celda Social/Riesgos: representa el conjunto de eventualidades que podrían causar que el impacto social del proyecto sobre alguno de los colectivos relacionados con él sea más negativo del previsto en la memoria del proyecto.

El estudiante aplicará las preguntas y reflexiones incluidas en este documento al alcance de su TFG, que puede ser inferior al de un Proyecto Puesto en Producción, tal como se muestra en la Figura 3, ya que el TFG puede no haber llegado, por ejemplo, a la fase de implantación. Por ello, en este documento se usará el término general PPP, pero el estudiante deberá aplicar las preguntas y reflexiones a su TFG.

<sup>6</sup> 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. Los imprevistos no se pueden, en principio, anticipar.

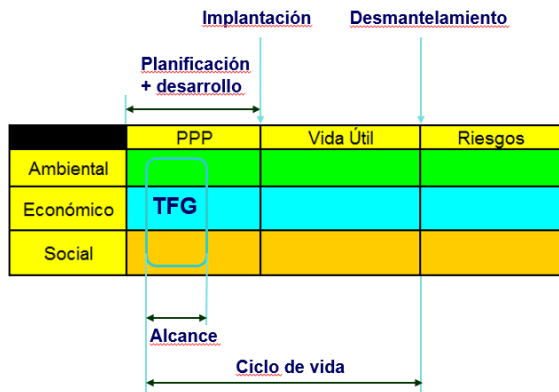


Figura 3: Alcance del TFG en la Matriz de Sostenibilidad.

### 3.2. Preguntas que el estudiante debe plantearse

Siguiendo el método socrático [3], la guía para elaborar el informe de sostenibilidad se realiza en forma de preguntas que el estudiante debe plantearse y contestar en el capítulo correspondiente de la memoria. La Figura 4 muestra la Matriz de Sostenibilidad que contiene dichas preguntas. Las preguntas no pretenden ser exhaustivas, por lo que el estudiante deberá plantearse cuáles son relevantes para su TFG

en concreto, cuáles no pueden aplicarse y qué preguntas adicionales, no incluidas en la matriz, debería considerar (y discutir en el informe de sostenibilidad) durante la realización de su TFG.

En el informe de sostenibilidad no se debe presentar una lista en forma de pregunta-respuesta, sino que debe hacerse un informe descriptivo en cuya argumentación se irá incluyendo toda la información relevante que dé respuesta a las preguntas de la Matriz de Sostenibilidad.

Las preguntas correspondientes a la fila etiquetada como "I" (Hito Inicial) en la Figura 4 y resaltadas en verde corresponden a las preguntas que el estudiante debe plantearse durante la realización de GEP, mientras que las incluidas en la fila etiquetada como "F" (Hito Final) corresponden a las que, además, deben ser justificadas en el informe de sostenibilidad incluido en la memoria final del proyecto. Como puede observarse, el análisis de riesgos no debe plantearse durante la realización de GEP, pero sí debe incluirse en el informe de sostenibilidad.

### 3.3. Ponderación de la matriz

Cada una de las celdas de la matriz, como se indica en la Figura 2, tiene una ponderación asignada en función de la influencia que hemos considerado que tiene sobre el grado de sostenibilidad del TFG. Duran-

|           | PPP                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Vida Útil                                                                                                                                                                                                                                                         | Riesgos                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ambiental | I<br>¿Has estimado el impacto ambiental que tendrá la realización del proyecto? ¿Te has planteado minimizar el impacto, por ejemplo, reutilizando recursos?                                                                                                                                    | ¿Cómo se resuelve actualmente el problema que quieres abordar (estado del arte)? ¿En qué mejorará ambientalmente tu solución a las existentes?                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                          |
|           | F<br>¿Has cuantificado el impacto ambiental de la realización del proyecto? ¿Qué medidas has tomado para reducir el impacto? ¿Has cuantificado esta reducción?<br>Si hicieras de nuevo el proyecto, ¿podrías realizarlo con menos recursos?                                                    | ¿Qué recursos estimas que se usarán durante la vida útil del proyecto? ¿Cuál será el impacto ambiental de estos recursos?<br>¿El proyecto permitirá reducir el uso de otros recursos? ¿Globalmente, el uso del proyecto mejorará o empeorará la huella ecológica? | ¿Podrían producirse escenarios que hiciesen aumentar la huella ecológica del proyecto?                                                                                                                                                   |
| Económico | I<br>¿Has estimado el coste de la realización del proyecto (recursos humanos y materiales)?                                                                                                                                                                                                    | ¿Cómo se resuelve actualmente el problema que quieres abordar (estado del arte)? ¿En qué mejorará económicamente tu solución a las existentes?                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                          |
|           | F<br>¿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?<br>¿Se ha ajustado el coste previsto al coste final? ¿Has justificado las diferencias (lecciones aprendidas)? | ¿Qué coste estimas que tendrá el proyecto durante su vida útil? ¿Se podría reducir este coste para hacerlo más viable?<br>¿Se ha tenido en cuenta el coste de los ajustes/actualizaciones/repificaciones durante la vida útil del proyecto?                       | ¿Podrían producirse escenarios que perjudicasen la viabilidad del proyecto?                                                                                                                                                              |
| Social    | I<br>¿Qué crees que te va a aportar a nivel personal la realización de este proyecto?                                                                                                                                                                                                          | ¿Cómo se resuelve actualmente el problema que quieres abordar (estado del arte)? ¿En qué mejorará socialmente (calidad de vida) tu solución a las existentes?<br>¿Existe una necesidad real del proyecto?                                                         |                                                                                                                                                                                                                                          |
|           | F<br>¿La realización de este proyecto ha implicado reflexiones significativas a nivel personal, profesional o ético de las personas que han intervenido?                                                                                                                                       | ¿Quién se beneficiará del uso del proyecto? ¿Hay algún colectivo que puede verse perjudicado por el proyecto? ¿En qué medida?<br>¿En qué medida soluciona el proyecto el problema planteado inicialmente?                                                         | ¿Podrían producirse escenarios que hiciesen que el proyecto fuese perjudicial para algún segmento particular de la población?<br>¿Podría crear el proyecto algún tipo de dependencia que dejase a los usuarios en posición de debilidad? |

Figura 4: Preguntas de la Matriz de Sostenibilidad del TFG.

te la realización del proyecto (PPP) y su vida útil las valoraciones sólo pueden ser positivas, mientras que los riesgos, si existen, tienen una valoración negativa.

El estudiante hará un análisis de sostenibilidad de su TFG usando los siguientes criterios de valoración:

- De 0 a 10 para cada una de las celdas correspondientes al Proyecto Puesto en Producción, siendo 10 un TFG “sostenible” respecto a los criterios considerados en cada dimensión (económica, social o ambiental) y 0 un TFG nada sostenible.
- De 0 a 20 para cada una de las celdas correspondientes a la vida útil, siendo 20 un TFG totalmente sostenible durante su vida útil para cada dimensión (económica, social o ambiental) y 0 un TFG no sostenible. La ponderación de la vida útil es el doble que la del PPP porque, como se explica en [4,5], el impacto sobre la sostenibilidad de la vida útil de un proyecto es normalmente mucho mayor que el producido durante su puesta en producción (aunque hay excepciones).
- De -20 a 0 para las celdas correspondientes a los riesgos, siendo 0 un TFG en el que no se han detectado riesgos respecto a los criterios considerados en cada dimensión (económica, social o ambiental) y -20 un TFG en el que se han identificado riesgos potencialmente peligrosos desde el punto de vista sostenible. Se ha asignado una ponderación negativa siguiendo el modelo de Felber para la matriz del bien común [1].

El estudiante otorgará y justificará en el informe de sostenibilidad una puntuación a cada celda de la matriz, y presentará como resultado la suma de las filas, la suma de las columnas y la suma total. La suma final dará una idea del nivel de sostenibilidad del proyecto, y puede oscilar entre -60 y 90. El proyecto será más sostenible cuanto mayor sea su puntuación, siendo 90 un proyecto totalmente sostenible y -60 un proyecto no sostenible en absoluto y con una elevada probabilidad de fracaso.

### 3.4. Criterios de evaluación y autoevaluación del informe de sostenibilidad

El informe de sostenibilidad incluido en la memoria debe razonar de forma justificada la puntuación que el estudiante otorga a cada celda de la matriz (autoevaluación). En los casos en que una determinada celda o pregunta no tenga aplicabilidad al TFG, se justificará el porqué de la no aplicabilidad y se otorgará a la celda correspondiente una puntuación de “0”. En ningún caso este hecho podrá tener un efecto negativo en la nota del TFG ni en la de la competencia “sostenibilidad” del estudiante si la no aplicabilidad está justificada. Lo que el tribunal valorará del informe de sostenibilidad (evaluación) es la justificación aportada por el estudiante para la valoración de

cada una de las celdas, no la valoración en sí misma. Esta justificación irá acompañada con datos cuando sea posible. Por lo tanto, un TFG podría tener una nota muy negativa en la Matriz de Sostenibilidad y obtener, sin embargo, una buena nota en el indicador de sostenibilidad del Hito Final del TFG si esta nota ha sido convenientemente justificada, demostrando así que se conoce y entiende el nivel de sostenibilidad del proyecto.

### 3.5. Organización del informe de sostenibilidad

Como ya se ha comentado anteriormente, la memoria del proyecto contendrá un capítulo titulado “Informe de Sostenibilidad”. Este informe puede realizarse analizando la matriz por filas o por columnas. Se ofrece a continuación un pequeño estudio de en qué casos resulta más adecuado cada modelo.

#### Análisis por filas

Tiene sentido realizar el análisis por filas en aquellos proyectos que quieran centrarse en el análisis detallado de cada una de las dimensiones de la sostenibilidad. En este caso, el informe de sostenibilidad se dividirá en tres secciones, denominadas respectivamente “Estudio de impacto económico”, “Estudio de impacto ambiental” y “Estudio de impacto social”. Esta clasificación permite asimilar el trabajo que hasta el momento se hacía al respecto en los TFGs de la FIB, que incluían un estudio de impacto económico, si bien generalmente éste se circunscribía únicamente al impacto producido durante la puesta en producción del proyecto (Factura) y obviaba tanto el impacto económico durante la vida útil como los riesgos que podrían afectar a la viabilidad del proyecto. En general, los proyectos de ingeniería deberían realizarse siguiendo este tipo de análisis.

#### Análisis por columnas

Una segunda forma de realizar el informe de sostenibilidad consiste en realizar el análisis por columnas. En este caso, el informe de sostenibilidad se dividirá en tres secciones, denominadas respectivamente “Proyecto Puesto en Producción”, “Vida útil” y “Riesgos”. Tiene sentido realizar este tipo de análisis en aquellos TFGs cuyo alcance no llegue a la implantación del proyecto o cuando la sostenibilidad de la vida útil del mismo no pueda ser convenientemente analizada. En este caso el análisis estará mucho más centrado en el trabajo realizado durante el TFG y será menos profundo en lo correspondiente a la vida útil y a los riesgos. Esta organización permitiría, por ejemplo, desarrollar de forma profunda la sección correspondiente a la sostenibilidad del PPP y de forma más superficial (o justificando convenientemente su inexistencia) las secciones correspondientes a la vida útil y los riesgos. No obstante, incluso en este caso se recomienda al estudiante que se plantee las preguntas detalladas para la vida útil y los riesgos del proyecto.

## 4. Guía del estudiante: Preguntas que deben plantearse y justificarse en el Hito Inicial

Esta sección se organiza siguiendo el modelo de análisis por filas de la matriz, pero nada impide al estudiante organizar su informe siguiendo el modelo de análisis por columnas si considera que éste se adapta mejor a su TFG.

En GEP, el estudiante se debe plantear únicamente las cuestiones relativas al Hito Inicial del proyecto y, por tanto, las que corresponden a la fila etiquetada como “I” en cada dimensión.

### 4.1. Estudio de Impacto Ambiental

Las siguientes preguntas se refieren al impacto ambiental que tendrá el diseño del proyecto. En el Hito Inicial, el estudiante tendrá que estimar los recursos ambientales que consumirá el diseño de su proyecto. En concreto, deberá responder a las siguientes preguntas correspondientes a las filas de la matriz etiquetadas “consumo del diseño” y “huella ecológica”:

#### Consumo del diseño

- ¿Has estimado el impacto ambiental que tendrá la realización del proyecto? ¿Te has planteado minimizar el impacto, por ejemplo, reutilizando recursos?

#### Huella ecológica

- ¿Cómo se resuelve actualmente el problema que quieres abordar (estado del arte)? Es decir, explica cómo se resuelve, actualmente y desde un punto de vista ambiental, el problema/necesidad que pretendes abordar.
- ¿En qué mejorará ambientalmente tu solución a las existentes? Haz una estimación.

### 4.2. Estudio de Impacto Económico

En el Hito Inicial, el estudiante tendrá que hacer una estimación del coste del proyecto (que incluirá una planificación detallada). En concreto, durante el Hito Inicial el estudiante deberá responder a las siguientes preguntas, correspondientes a las dos filas de la matriz etiquetadas como “factura del proyecto” y “plan de viabilidad”:

#### Factura del proyecto

- ¿Has estimado el coste de la realización del proyecto (recursos humanos y materiales)? Debes presentar una planificación detallada y una estimación del coste del proyecto.

#### Plan de viabilidad

- ¿Cómo se resuelve actualmente, desde un punto de vista económico, el problema que quieres abordar (estado del arte)? Presenta cálculos económicos.

- ¿En qué mejorará económicamente tu solución a las existentes? ¿Es más barata? Realiza una estimación, si es posible.

### 4.3. Estudio de Impacto Social

En esta sección se presentan las preguntas que debe plantearse el estudiante respecto al impacto social de su proyecto. Por ejemplo, si se crea un sistema de reciclaje se hace una mejora social, pero también se complica inicialmente el día a día de los usuarios al cambiar sus costumbres. Se deben considerar las implicaciones sociales, tanto sobre el colectivo al que se dirige el proyecto como sobre otros colectivos. Los colectivos relacionados con el proyecto pueden ser propietarios/gestores del proyecto, consumidores/usuarios directos y terceros/indirectos/pasivos.

Por ejemplo, en las actuales apps que permiten compartir el uso de un vehículo, el propietario/gestor mantiene la app, los usuarios directos son el conductor y el pasajero, y terceros podrían ser los taxistas como colectivo perjudicado por la reducción en el volumen de su negocio.

En concreto, el estudiante deberá responder a las siguientes preguntas correspondientes a las dos filas de la matriz etiquetadas como “impacto personal” e “impacto social”:

#### Impacto personal

Las siguientes preguntas se refieren a en qué te ha afectado a ti, a nivel personal, la realización del diseño de este proyecto: ¿En qué te ha cambiado la vida, si es que lo ha hecho, o si ha cambiado tu visión sobre la misma? ¿Te ha hecho darte cuenta de situaciones que antes ignorabas? En el Hito Inicial te verás obligado, probablemente, a hacer proyecciones de futuro.

- ¿Qué crees que te va a aportar a nivel personal la realización de este proyecto?

#### Impacto social

Las siguientes preguntas están orientadas a que reflexiones sobre las implicaciones que la realización del proyecto puede tener sobre la sociedad.

- ¿Cómo se resuelve actualmente el problema que quieres abordar (estado del arte)? Es decir, debes identificar a los colectivos afectados ante el problema/necesidad que pretendes abordar.
- ¿En qué mejorará socialmente (calidad de vida) tu solución a las existentes? ¿Tu proyecto mejorará la calidad de vida de los afectados (usuarios, no-usuarios, inversores, trabajadores, proveedores, etc.)? ¿En qué?
- ¿Existe una necesidad real del proyecto? Es decir, ¿presentas este proyecto para mejorar la vida de los afectados (usuarios, no-usuarios, inversores, trabajadores, proveedores, etc.) o para rellenar el expediente?

## 5. Guía del estudiante: Preguntas que deben plantearse y justificarse en el Hito Final

Al igual que la sección anterior, esta sección se organiza siguiendo el modelo de análisis por filas de la matriz, pero nada impide al estudiante organizar su informe siguiendo el modelo de análisis por columnas si considera que éste se adapta mejor a su TFG.

### 5.1. Estudio de Impacto Ambiental

Las siguientes preguntas se refieren al impacto ambiental que tendrá el diseño del proyecto. En el Hito Inicial, el estudiante ha estimado los recursos ambientales que consumirá el diseño de su proyecto, mientras que en el Hito Final tendrá que presentar el cálculo de los consumos ambientales que ha generado y estimar el consumo de la vida útil. Todos los consumos deben incluirse en la memoria del proyecto.

En concreto, deberá responder a las siguientes preguntas correspondientes a las filas de la matriz etiquetadas “consumo del diseño” y “huella ecológica”:

#### Consumo del diseño

- ¿Has cuantificado el impacto ambiental de la realización del proyecto? ¿Qué medidas has tomado para reducir el impacto? ¿Has cuantificado esta reducción? Para responder estas preguntas debes presentar una evaluación numérica del impacto (consumo en vatios, toneladas de CO<sub>2</sub> generadas por ese consumo en función de la fuente de energía usada, etc.). Existen múltiples calculadoras ecológicas en internet que te facilitarán realizar estos cálculos<sup>7</sup>.
- Si hicieras de nuevo el proyecto, ¿podrías realizarlo con menos recursos?

#### Huella ecológica

- ¿Qué recursos estimas que se usarán durante la vida útil del proyecto? ¿Cuál será el impacto ambiental de estos recursos? Usa una calculadora ecológica como la sugerida para la pregunta anterior para responder a esta pregunta.
- ¿El proyecto permitirá reducir el uso de otros recursos? Globalmente, ¿el uso del proyecto mejorará o empeorará la huella ecológica? La calculadora ecológica te ayudará a responder a esta pregunta.

#### Riesgos ambientales

- ¿Podrían producirse escenarios que hiciesen aumentar la huella ecológica del proyecto? Explica posibles escenarios probables -pero no significativos- que podrían provocar un aumento de la huella ecológica.

### 5.2. Estudio de Impacto Económico

En esta sección se presentan las preguntas que debe plantearse el estudiante respecto a la viabilidad económica de su proyecto. No hay que hacer un análisis profundo de viabilidad, retorno de inversión, financiación y otros temas, que sin embargo sí debería contemplar un estudiante de master o un ingeniero.

En el Hito Inicial, el estudiante ha realizado una estimación del coste del proyecto (que incluye una planificación detallada), mientras que en el Hito Final tendrá que presentar además un cálculo económico de la factura del diseño del proyecto y analizar el motivo de las desviaciones respecto al planteamiento inicial, si es que éstas se han producido. En concreto, el estudiante deberá responder a las siguientes preguntas, correspondientes a las tres filas de la matriz etiquetadas como “factura del proyecto”, “plan de viabilidad” y “riesgos económicos”:

#### Factura del proyecto

- ¿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? Debes presentar datos numéricos para contestar a esta pregunta.
- ¿Se ha ajustado el coste previsto al coste final? ¿Has justificado las diferencias (lecciones aprendidas)?

#### Plan de viabilidad

- ¿Qué coste estimas que tendrá el proyecto durante su vida útil? Estima los costes que supone la realización, activación y funcionamiento de tu proyecto. ¿Se podría reducir este coste para hacerlo económicamente más rentable?
- ¿Se ha tenido en cuenta el coste de los ajustes/actualizaciones/reparaciones durante la vida útil del proyecto?

#### Riesgos económicos

- ¿Podrían producirse escenarios que perjudicasen la viabilidad del proyecto? Explica posibles escenarios probables -pero no significativos- que podrían poner en peligro la viabilidad económica de tu proyecto.

### 5.3. Estudio de Impacto Social

En esta sección se presentan las preguntas que debe plantearse el estudiante respecto al impacto social de su proyecto. Se deben considerar las implicaciones sociales, tanto sobre el colectivo al que se dirige el proyecto como sobre otros colectivos. También deben considerarse efectos colaterales. Por ejemplo, en las actuales apps que permiten compartir el uso de un vehículo, existen efectos colaterales como el impacto (positivo) en el tránsito y la contaminación ambiental. Este impacto debería considerarse en las celdas correspondientes de la matriz.

<sup>7</sup> Como por ejemplo <http://www.tuhuellaecologica.org/>.

En concreto, el estudiante deberá responder a las siguientes preguntas correspondientes a las tres filas de la matriz etiquetadas como “impacto personal”, “impacto social” y “riesgos sociales”:

#### **Impacto Personal**

Las siguientes preguntas se refieren a en qué te ha afectado a ti, a nivel personal, la realización de este proyecto. En el Hito Inicial te has visto obligado, probablemente, a hacer proyecciones, mientras que en el Hito Final tendrás que hacer reflexiones.

- ¿La realización de este proyecto ha implicado reflexiones significativas a nivel personal, profesional o ético de las personas que han intervenido?

#### **Impacto social**

Las siguientes preguntas están orientadas a que razones sobre las implicaciones que la realización de tu proyecto puede tener sobre la sociedad.

- ¿Quién se beneficiará del uso del proyecto? ¿Hay algún colectivo que puede verse perjudicado por el proyecto? (usuarios, no-usuarios, inversores, trabajadores, proveedores, etc.) ¿En qué medida?
- ¿En qué medida soluciona el proyecto el problema planteado inicialmente? ¿Es una solución más, o es “la solución”? ¿Cuánto de ilusión y de pasión hay en tu proyecto?

#### **Riesgos sociales**

- ¿Podrían producirse escenarios que hiciesen que el proyecto fuese perjudicial para algún segmento en particular de la población?
- ¿Podría crear el proyecto algún tipo de dependencia que dejase a los usuarios en posición de debilidad? Explica posibles escenarios probables -pero no significativos- que podrían perjudicar a afectados (usuarios, inversores, trabajadores, proveedores, etc.) de tu proyecto.

## **6. Conclusiones**

La humanidad debe aprender a compartir el planeta y sus limitados recursos. No se trata de ser una persona comprometida, sino de incorporar la sostenibilidad en nuestras actividades diarias. Los ingenieros pueden contribuir a hacer un mundo más sostenible incluyendo parámetros de sostenibilidad en su actividad profesional. La integración de la sostenibilidad como parte de sus proyectos es un hábito que debe ser adquirido durante su formación universitaria, cuando los futuros ingenieros están aprendiendo los conceptos básicos de su trabajo.

En este artículo hemos presentado una metodología que permite la introducción y evaluación de la sostenibilidad en el marco de los proyectos de ingeniería, y hemos aplicado la metodología al Trabajo Final de Grado de un grado en ingeniería informática. La

metodología está destinada a ayudar a los estudiantes a pensar en la relación entre la sostenibilidad y la ingeniería. La metodología es realista, simple y estructurada, porque en un método complejo, desorganizado o irreal, los estudiantes se concentrarán en la escritura de un análisis de sostenibilidad para marcar la tarea como "hecha", pero no harán una reflexión profunda (y por lo tanto, no conseguirán el aprendizaje en profundidad) sobre la sostenibilidad.

Esperamos que en julio de 2016 se presenten los primeros TFGs que han usado esta metodología, aunque algunos estudiantes que la usaron en su TFG como programa piloto hicieron un informe de sostenibilidad notablemente meritorio. Nuestro trabajo futuro consistirá en la evaluación de la calidad del análisis de sostenibilidad de los proyectos de nuestros estudiantes en los próximos años y, si es posible, el análisis de la sostenibilidad inherente a sus proyectos de la vida real. Esto debería constituir la verdadera prueba del nivel de comprensión de la sostenibilidad adquirido por nuestros estudiantes.

## **Referencias**

- [1] Christian Felber, *La economía del bien común*. Deusto S.A. Ediciones. ISBN 9788423412808. 2011.
- [2] R. Rao, A. L. Pawley, S. R. Hoffmann, M. W. Ohland and M. E. Cardella. *Work in progress Development of a framework to Assess Sustainability Knowledge (ASK) in engineering undergraduate students*. 40th IEEE Frontiers in Education Conference (FIE 2010). Washington, DC. pp. F1J-1 – F1J-3. Oct. 2010.
- [3] Fermín Sánchez, Jordi García, David López, Marc Alier, Jose Cabré, Helena García y Eva Vidal. *El método socrático como guía del Trabajo de Fin de Grado*. *ReVisión*, ISSN 1989-1199, Vol. 8, Num. 1. pp. 53-61, enero 2015.
- [4] Fermín Sánchez, Jordi García, Eva Vidal, David Lopez, Jose Cabré, Helena Garcia y Marc Alier. *Guía y evaluación de la sostenibilidad en los Trabajos de Fin de Grado*. XXI Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática, JENUI 2015. Páginas 34-41. Andorra la Vella, Andorra, Julio de 2015. ISBN: 978-99920-70-10-9. DL: AND.92-2015.
- [5] Fermín Sánchez, Jordi García, Eva Vidal, David López, Jose Cabré, Helena García, Marc Alier y Carme Martín. *¿Es sostenible la Estrella de la Muerte?* *ReVisión*, ISSN 1989-1199, Vol. 8, Num. 3. pp. 81-103, septiembre 2015.