

El futuro de los planes de estudios en Ingeniería Informática. Una visión (muy) personal.

David López

Dept. d'Arquitectura de Computadors
Universitat Politècnica de Catalunya
Barcelona
david@ac.upc.edu

Resumen

Recientemente ha sido publicado el *Computer Curricula 2020* de ACM e IEEE, un documento que puede provocar que en los próximos años nos replanteemos (total o parcialmente) nuestros planes de estudios de grado en Ingeniería Informática. Este artículo presenta una visión muy personal sobre cosas que hemos hecho bien y cosas que hemos hecho mal en los planes actuales. Reflexiono sobre la profesión en el siglo XXI y en los cambios de calado que deberíamos hacer para ofrecer el entorno de aprendizaje más adecuado para nuestros estudiantes, los profesores y la sociedad.

Abstract

The ACM and IEEE Computer Curricula 2020 has been recently published. This document will become a referent in designing future Computing Degree curricula, and may cause Computing Schools to rethink (in whole or in part) the current curricula. This paper presents a very personal view of the author about strengths and weaknesses of current curricula. Here, the reader can find a reflection about the profession in the 21st century and on the philosophical changes we should work in order to offer the most appropriate learning environment for students, teachers and the society.

Palabras clave

Planes de estudios, Principios educativos, Transformación educativa, Competencias de la ingeniería informática.

1. A modo de introducción

Este artículo sirve de apoyo a la conferencia inaugural de JENUI 2021. Conferencia, a su vez, de agradecimiento por el premio AENUI a la calidad e innovación docente 2020. Recibir este premio ha sido uno de

los mayores honores que he tenido en mi vida. No os hacéis a la idea de lo que significa para mí recibir un premio de una comunidad a la que admiro y con la que he aprendido tanto.

Recibir el premio tiene un precio: se debe impartir una conferencia en JENUI (aunque sea con un año de retraso y en un formato no deseado debido a la excepcionalidad de la situación). Es una presión enorme, ya que hay una larga tradición de buenas conferencias en las jornadas. Revisando algunas de ellas, me he dado cuenta que las que han sido más útiles para mí han sido aquellas que me han obligado a salir de mi espacio de confort y reflexionar sobre mis propias creencias. Por ello he pensado en hacer una conferencia de este tipo, en el sentido de que pretendo generar reacciones emocionales y mover a la reflexión. Es posible que una conferencia así genere rechazo: todo el mundo encontrará algo que no le guste. Pero pido a toda persona que atienda la conferencia o lea estas líneas que mire más allá de algunos detalles incómodos y se plantee cómo debería ser la filosofía¹ detrás de los futuros planes de estudios.

Estas reflexiones se organizan de la siguiente manera: en la sección 2 hablaremos de cambios que se están produciendo en los últimos años y se presentará el concepto (y la necesidad) de una transformación educativa. En la sección 3 se presentarán los que, a juicio del autor, son los principios que nos deberían guiar a la hora de diseñar un plan de estudios si queremos llevar a cabo esa transformación educativa. Esta sección es el auténtico centro y tesis principal de esta reflexión. Sin embargo, las ideas se pueden entender mejor con un ejemplo, así que la sección 4 presentará un esbozo (ideal, y por ello quizá inalcanzable) de un plan de estudios de Grado de Ingeniería Informática. Como colofón, la sección 5 reflexionará sobre los cambios de normativas necesarios, sobre especialidades en la carrera, másteres y otros detalles no menores, pero en los que no se profundizará por falta de espacio.

¹ Entendiendo como *filosofía* la "Manera de pensar o de ver las cosas" (Diccionario de la RAE).

2. La necesidad de una transformación educativa

2.1. Los profesionales del siglo XXI

Estamos ante lo que puede ser una de las mayores revoluciones de la historia de la humanidad. Una revolución informática que cambiará muchos aspectos tanto laborales como sociales y éticos. Estamos (o estaremos en breve) rodeados de coches que se conducen solos, robots realizando trabajos cada vez más precisos y con mejor interacción con los humanos, Internet de las cosas, redes sociales y algoritmos que nos dicen qué vestir, qué comprar e incluso a quién amar.

Centrémonos en el aspecto del profesional del siglo XXI. Según el libro *Robot Proof* de Joseph E. Aoun [2], el 45% de los trabajos actuales podrían ser realizados por máquinas usando únicamente la tecnología actual (para contextualizar: el libro es de 2017). Los cambios se están produciendo a una velocidad de vértigo, generando inseguridad y, en ocasiones, rechazo. No es un rechazo nuevo. El siglo XIX vio el nacimiento del movimiento ludita, formado por artesanos que protestaban contra la pérdida de empleos debidos a las máquinas utilizadas durante la revolución industrial. Sin embargo, las mejoras en los trabajos debidas a la revolución industrial no son discutidas hoy en día. Probablemente se requerirá un periodo de adaptación, pero las oportunidades que ofrece la tecnología son enormes para todas las ramas del saber. Por ejemplo, el desarrollo actual de videojuegos requiere de psicólogos, educadores, diseñadores de interiores, arquitectos, físicos, matemáticos y un sinnúmero de profesionales cuyos conocimientos son requeridos en este nuevo campo.

Pongamos un ejemplo concreto de oportunidades. Después de ganar el concurso *Jeopardy!*, el ordenador Watson de IBM se ha reconvertido en un asesor oncológico [5]. Se le alimentó con historiales de pacientes y ahora es usado por muchos oncólogos a hacer diagnósticos más rápidos y precisos. ¿Va a sustituir Watson a estos especialistas? Probablemente no, sólo se va a convertir en una herramienta de ayuda, pero también es imaginable que Watson será capaz de realizar mejores diagnósticos que la media de los oncólogos (aunque quizá no supere a los mejores).

Se podría pensar que todo son ventajas para las titulaciones de informática. Pero no, la informática también está cambiando y la manera de formar los futuros profesionales también debe cambiar.

2.2. Los informáticos del siglo XXI

En una entrevista en Techxplore², Justin Gottschlich, que ocupa el cargo de *Head of Machine Programming Research* en *Intel Labs* explicaba el cambio producido en el código de *Google Translate*. El código

original de esta conocida aplicación fue construido por ingenieros que generaron a mano cerca de 500.000 líneas de código usando las técnicas de programación clásicas. Hace unos cuatro años, Google reescribió este código usando técnicas de *differentiable programming*, reduciendo el código a 500 líneas, en un programa que aprendía contrastando traducciones realizadas. Este cambio produjo un incremento en la calidad de las traducciones respecto al código original. En su artículo de 2018 *How Machine Learning Impacts the Undergraduate Computing Curriculum*, Mark Guzdial [24] defiende que históricamente hemos considerado la programación como una serie de abstracciones comprensibles a nivel humano en forma de estructuras de datos y algoritmos, deterministas y verificables. Con el advenimiento de las técnicas de *Machine Learning*, el modelo pasa a ser un compuesto de millones de parámetros, no un algoritmo legible por seres humanos, y su verificación ya no es una prueba lógica de corrección, sino una demostración estadística de efectividad. Esto no significa que deba dejar de enseñarse la programación clásica, pero sí que algunas técnicas de desarrollo de software sufrirán un cambio en los próximos años. Y el proceso de enseñanza-aprendizaje de informática debería estar preparado para este cambio.

Esta situación se está dando en todas las especialidades de informática. Así pues ¿cuál es el objetivo del proceso de enseñanza-aprendizaje en la Ingeniería Informática? El principal, para mí, es alcanzar una manera de pensar, pero con un profundo conocimiento de la epistemología de la informática. Deberíamos centrarnos en la adquisición de ciertas habilidades como el pensamiento computacional, la creatividad, la comunicación, el trabajo en equipo multidisciplinar y multicultural, la resiliencia, el diseño, etcétera. Pero todo ello usando el corpus de conocimiento de la informática. Una de las citas que más uso en mis artículos es de Confucio (Analectas 2,15): “Estudiar sin pensar es en vano, pensar sin estudiar es peligroso”. Creo profundamente que el secreto está en adquirir estas habilidades (comunicación, creatividad, ...), y aprenderlas mientras se aprende en profundidad la informática. Aprender estas habilidades sin el conocimiento profundo de la informática es en vano (si queremos ser profesionales de la informática), pero aprender sólo la parte tecnológica sin las otras habilidades (como ha pasado tradicionalmente en los estudios de informática) es peligroso. Para mí, un profesional de la informática es una persona que tiene una manera de pensar determinada, unos conocimientos (profundos) determinados y unas actitudes determinadas (curiosidad, ética, adaptabilidad y creatividad, entre otras). Muchas de estas actitudes no se trabajan en los planes de estudios, e incluirlas no requiere cambiar el plan de estudios, sino cambiar la filosofía educativa.

² <https://techxplore.com/news/2019-10-software-machines.html>

2.3. Transformación educativa

Faraón Llorens [31] define la diferencia entre *digitization*, *digitalization* y *digital transformation*. Según la definición, y aplicándola a la universidad (confieso que lo he simplificado un poco), *digitization* es pasar de información de formato analógico a formato digital; *digitalization* es digitalizar procesos y operaciones y *digital transformation* (transformación digital) es digitalizar la estrategia de la universidad, lo que llevaría de la universidad tradicional a la universidad digital.

Pienso que esto también se puede aplicar a lo que definiré como *transformación educativa* y que, igual que en la transformación digital, tiene tres estados:

- Adaptación educativa. A ella nos ha llevado el proceso de Bolonia: adaptación de normativas, contar el trabajo del alumno (créditos ECTS) en lugar de horas de clase, hablar de competencias e incluir su evaluación, organización en grado y máster, etcétera. Sin embargo, muchas universidades se han adaptado sin realizar los profundos cambios filosóficos que requería la educación universitaria del siglo XXI.
- Evolución educativa. Cambiamos el modelo tradicional (básicamente clase magistral y exámenes) por nuevas metodologías docentes adaptadas a las nuevas necesidades: *flipped classroom*, PBL, MOOC, *Service-Learning*, *b-Learning*, etcétera. Adaptamos las asignaturas para incluir asignaturas de proyectos, o con proyectos compartidos entre diversas asignaturas. Ampliamos la práctica con nuevos laboratorios mejorados con simuladores. Cambiamos métodos de evaluación con evaluación continua, por proyectos, entre pares, etcétera. Incluimos métodos de enseñanza-aprendizaje en competencias profesionales como trabajo en equipo o comunicación y los evaluamos. Sin embargo, estos cambios suelen ser micro-cambios. Se realizan en algunas asignaturas, sin formar parte de una estrategia conjunta y más basadas en la inquietud de algunos profesores que en una estrategia de Escuela o Universidad, con los sesgos que ello implica [37]. El principal problema es que seguimos con el paradigma de la asignatura como unidad base de contabilidad. La evolución de los estudiantes se cuenta en asignaturas aprobadas, el trabajo del profesorado en horas impartidas en asignaturas, pero lo que es peor (en mi opinión) es que el conocimiento se separa en unidades (asignaturas) asignadas a departamentos sin una clara estrategia global en el plan de estudios. Esto cambiaría si pasásemos al siguiente nivel.

- Transformación educativa. Requiere una transformación de la estrategia global. En un modelo de transformación educativa nos planteamos unos estudios (por ejemplo, de grado en Ingeniería Informática) como un todo y no como una sucesión de asignaturas. Se plantea una estrategia de titulación respecto a metodología docente, objetivos educativos y maneras de alcanzar dichos objetivos. Existen diversas maneras de obtener el título (itinerarios o especializaciones). Los estudiantes escogen, dentro de unos márgenes, su propia formación. Hay flexibilidad para adaptarnos a las nuevas necesidades.

No es fácil llegar a este tercer estado. Sin embargo, hay modelos de éxito que ya están funcionando así. Veamos algunos ejemplos.

Un caso de éxito es el *Olin College of Engineering*³, una pequeña universidad privada en las afueras de Boston. De acuerdo con el informe *The global state of the art in engineering education* elaborado por el MIT [20], Olin y el propio MIT comparten el honor de ser consideradas las universidades líderes en educación de la ingeniería. Su modelo se basa en el aprendizaje experimental y en trabajar por retos basados en el diseño. El primer curso es común para todas las ingenierías y luego tienen especialidades.

Los estudiantes de Olin se enfrentan a proyectos nada más empezar la carrera. Así, por ejemplo⁴, realizan 3 proyectos el primer curso. El primero es diseñar un barco y construir un modelo (de aproximadamente un metro). Aunque no entran en la universidad con los conocimientos necesarios, los alumnos van tomando seminarios sobre la física y las matemáticas necesarias para desarrollar el proyecto (por ejemplo, sobre dinámica de fluidos). Toda la teoría se introduce cuando el proyecto que se está realizando la requiere. Entre los proyectos a desarrollar en los cuatro años de carrera se incluye un *engineering capstone*⁵ que debe ser un proyecto real y que se desarrolla para una empresa o una ONG; un *arts, humanities and social sciences capstone* (que puede ser de pintura, música, historia..., pero siempre con relación con la ingeniería); y un *entrepreneurship capstone* donde los estudiantes desarrollan un proyecto propuesto enteramente por ellos mismos.

Uno podría decir que esto se puede hacer en Olin porque es una pequeña universidad privada con sólo 350 estudiantes y con un presupuesto insultantemente alto. Y es cierto, pero hay casos similares en universidades públicas. Por ejemplo, el *Purdue Polytechnic Institute*⁶ de la *Purdue University*, una universidad pública en Indiana (EE.UU.) tiene (la escuela, no la universidad) más de 5000 alumnos y un presupuesto de

³ <http://www.olin.edu>

⁴ Información proveniente de una entrevista personal con el Dr. John Stolk, de Olin, en la visita que hice al centro el 14 de mayo de 2018.

⁵ Un *Capstone Project* incluye, habitualmente, diversas asignaturas y es un proyecto de una cierta envergadura. Lo más cercano para nosotros son los trabajos de final de estudios.

⁶ <https://polytechnic.purdue.edu>

universidad pública (por supuesto, superior al de cualquier universidad española).

Este *College* es también uno de los mejores valorados de los EEUU y su modelo es similar al de Olin⁷. En este centro se ha roto con las asignaturas tradicionales, pasando a una organización a base de proyectos, evaluando la adquisición de competencias, usando *learning-by-doing*, aprendiendo en contexto (en particular enseñando las bases científicas cuando un proyecto las necesita, no antes) e integrando ingeniería con humanidades (por ejemplo, en primero es obligatorio la lectura de “La República” de Platón). No tienen exámenes, sino que la evaluación del aprendizaje se basa en el resultado de los proyectos, portafolios, autoevaluación, evaluación por pares y evaluación adaptativa automática. Los estudiantes asisten a clase dos días a la semana, siendo otros dos dedicados a trabajo colaborativo en sus proyectos. El quinto día está reservado para mentorías, viajes de campo, ferias de tecnología, entrevistas, aprendizaje-servicio, etcétera. Además, hay una hora dedicada cada día sin ningún tipo de actividad programada para charlas invitadas, colaboración entre profesores y estudiantes, etcétera.

La historia de la interacción entre Olin y Purdue se puede encontrar en el maravilloso libro de Goldberg y Somerville [21]. ¿Qué tienen en estos casos de éxito? Pues que desarrollan habilidades como motivación, identidad, creatividad, resiliencia, pensamiento crítico, pensamiento computacional y diseño. Pero hay algo más importante: la conclusión de los autores del libro es que las claves para esta transformación no tienen que ver con los métodos pedagógicos utilizados, con el dinero invertido o con el plan de estudios, sino que son *emocionales y culturales*.

Hay que cambiar la cultura de la educación superior, sacándola de formatos del siglo XIX. Hay que crear un entorno emocionalmente positivo que ahora no existe, ni entre el profesorado ni entre el alumnado. Pero todo ello basándonos en todo lo que hemos aprendido sobre educación en los últimos años.

3. Bases para realizar la transformación educativa

Hay una serie de conceptos que creo que son los que hay que tener en mente en el momento de diseñar un plan de estudios en Ingeniería Informática si queremos que realmente esté orientado por la transformación educativa. En esta sección se definirán estos conceptos y se hablará de las teorías y estudios que los sustentan.

⁷ La información proviene de la charla invitada que el Decano de este *College*, Gary Bertoline, impartió en el congreso SEFI 2017, a la que asistí y cuyas transparencias están disponibles en: <https://www.sefi.be/wp-content/uploads/2017/09/SEFI2017-Keynote-Gary-Bertoline.pdf>

3.1. Andragogía

No voy a entrar en teorías educativas por falta de espacio, aunque siempre es interesante cuando se discuten estos temas repasar conceptos de constructivismo, construccionismo y las teorías de gente como Vygotsky, Piaget, Papert o Bruner [8]. Sin embargo, hemos de tener cuidado con las teorías pedagógicas porque no siempre aplican en el entorno de la educación superior. Conviene distinguir entre pedagogía (del griego *paedion*, niño) de la andragogía (del griego *andros*, hombre – entendido como ser humano adulto).

De la andragogía ya se ha hablado en JENUI, creo que la primera vez fue Asunción Castaño [9]. Aunque es una teoría relativamente antigua, se hizo muy popular a raíz de los trabajos de Malcom Shepherd Knowles en 1985 y defiende que la manera de aprender de niños y adultos es diferente, y por tanto que no todas las teorías pedagógicas sirven para la educación de adultos⁸.

Según la andragogía, los adultos:

- Quieren aprender. Es decir, tienen una motivación intrínseca;
- Aprenden lo que consideran que deben aprender. Son responsables de su aprendizaje;
- Aprenden mejor de manera activa y en situaciones informales;
- Se centran en problemas y aptitudes, no en contenidos;
- Enlazan lo que aprenden con su experiencia;
- Quieren guía y ser considerados como iguales en el proceso.

Algunos puntos se ven muy bien reflejados en los conceptos de neuroeducación⁹: la importancia de la motivación, del tomar responsabilidad en el proceso y del aprendizaje como labor activa. Uno de los problemas en la definición de un plan de estudios para educación superior es que las funciones ejecutivas superiores se desarrollan a partir de los 17 años, pero maduran entre los 20 y los 27 años [43]. Así pues, no deberían utilizarse las mismas bases educativas en primer curso que en cuarto. Pero sí deberíamos incluir y guiar el proceso de maduración del estudiante durante este periodo. Eso, para mí, significa que deberíamos basar el primer curso en la adquisición de ciertas competencias. Eso no significa no adquirir conocimientos, sino que hay que contextualizarlos. Si los estudiantes aprenden lo que quieren aprender, entonces hay que demostrar la utilidad de ciertas cosas. Por ejemplo, supongamos un alumno al que en primero se le explica teoría de grafos sin que vea su utilidad más allá de aprobar la asignatura de álgebra. Nunca realizará un

⁸ La andragogía ha sido a veces discutida, pero sí hay unanimidad en el concepto de que niños y adultos no aprenden igual.

⁹ No se pierdan la conferencia de Fermín Sánchez en JENUI 2018 *Indiana Jones, uno de los nuestros* sobre neurociencia. <https://www.youtube.com/watch?v=VII9VJQp9Tk>

aprendizaje profundo de dicha teoría hasta que a aplique en proyectos reales. Sin embargo, si al mismo estudiante se le plantea desde principio un problema real, y cuando es consciente de su complejidad y los puntos que no sabe resolver, entonces se le indica que existe la teoría de grafos y se le ofrece un seminario de dicha teoría, este alumno lo aprenderá en profundidad, ya que lo querrá aprender, se centrará en el problema y percibirá al profesor como un guía.

3.2. El plan de estudios holístico

Como indiqué anteriormente, el plan de estudios ha de verse globalmente. En este punto estoy de acuerdo con otro gurú de la educación, Paul Ashwin¹⁰. Sostiene Ashwin que a veces hacemos mejoras individuales en una asignatura, pero eso no es sostenible: si cambia el coordinador o el profesor de la asignatura la mejora introducida puede perderse. Para que perdure hay que diseñar el plan de estudios como un todo, con una filosofía determinada y con una visión conjunta y no como una acumulación de partes (holismo). Debemos preguntarnos qué tipo de estudiante se matricula en nuestro grado, qué sabe y qué busca, y ofrecerle una formación global. Aquí voy a ser muy crítico con un concepto muy mal entendido en mi opinión: la libertad de cátedra. A continuación, se presenta la definición de libertad de cátedra del diccionario jurídico de la RAE:

“Derecho fundamental de los profesores y una de las manifestaciones de la libertad de enseñanza, así como concreción específica de la libertad de expresión, que supone la posibilidad que tienen los docentes de exponer la materia que deben impartir con arreglo a sus propias convicciones –siempre con cumplimiento de los programas establecidos– y a las competencias de los diversos órganos que tienen atribuida la organización de la docencia, por ejemplo los departamentos en la enseñanza universitaria, en el bien entendido de que estas sean ejercidas de forma adecuada”

Note el lector que se incluye el concepto del cumplimiento de los programas establecidos y las competencias de los órganos que tienen atribuida esa organización. Libertad de cátedra no es “explico lo que creo que debo explicar” o “lo que me da la gana”. El plan de estudios como un todo requiere que decidamos, de acuerdo con una visión global, lo que podríamos llamar el ADN de nuestro centro. Por ejemplo, la universidad de Aalborg tiene un ADN claramente definido: todos sus programas de estudios están basados en Aprendizaje Basado en Proyectos, así que la libertad de cátedra no permite que una persona decida que en sus clases no utiliza ABP. Por tanto, la libertad de cátedra no debería permitir situaciones donde, en una

asignatura de programación, un profesor decida explicar recursividad y otro no explicarla, o que uno decida usar Python y otro Pascal.

Un plan de estudios holístico no solo es deseable; es imprescindible. Resulta básico definir el ADN del plan de estudios. No puede haber mensajes contradictorios en unos estudios y hay que evitar que algunos conceptos se estudien muchas veces y otros ninguna. No puede ser que el éxito o fracaso de una asignatura, o su método de evaluación o su organización dependa de quien forma parte de su profesorado. Y todo el profesorado debería tener claro cómo se usan los conceptos de su asignatura en un entorno informático, qué ha hecho el alumnado antes y cómo usarán lo que aprendan en su asignatura en el futuro (otras asignaturas o en el futuro profesional). Y dentro de estos parámetros puede haber mucha libertad para experimentar.

Tener un plan de estudios global puede marcar hasta la manera de enseñar. Por ejemplo, ¿son adecuadas las clases magistrales? Pues la respuesta es que depende de en qué momento y con qué objetivos dentro de un plan global. Las clases magistrales no son intrínsecamente perversas como a veces he leído (lo único perverso es que sean la única metodología docente). Pero igualmente, y aunque me encantan estas metodologías, no creo que todo deban ser clases invertidas (*flipped classroom*) [34] ni asignaturas gamificadas [16]. Un ejemplo de esta idea se puede encontraren la entrada del blog de Mark Guzdial¹¹ donde alaba las bondades del aprendizaje por descubrimiento en estudios preuniversitarios, pero defiende que no es la mejor metodología en la universidad.

Cada cosa tiene su espacio y su momento. Por eso, una visión global puede permitir estudiar qué metodología usar en cada momento en función del curso, contenido, objetivos, carga de trabajo del alumnado, entre otros parámetros.

3.3. Creatividad

La charla TED más vista en el momento de escribir estas líneas es la de Sir Ken Robinson (1950-2020) sobre creatividad¹² con casi 70 millones de visualizaciones. Aunque la charla es muy buena, no sustituye la recomendable lectura de su libro *Out of our Minds* [42]. Sostiene Robinson que uno de los principales papeles de la educación es despertar y desarrollar la creatividad, pero que en su lugar la hacemos desaparecer por medio de la estandarización. Estas palabras las corrobora el estudio de George Land encargado por la NASA¹³, consistente en desarrollar un test de creatividad para ayudarles a encontrar los ingenieros más creativos para su programa espacial. El test se probó en un

¹⁰ Véase su magnífica conferencia sobre planes de estudios en

https://www.youtube.com/watch?v=iroyM--w_A

¹¹ <https://cacm.acm.org/blogs/blog-cacm/232557-direct-instruction-is-better-than-discovery-but-what-should-we-be-directly-instructing/fulltext>

¹² “Do schools kill creativity?” una charla TED disponible en

https://www.ted.com/talks/sir_ken_robinson_do_schools_kill_creativity?language=en

¹³ Se explica en la charla TED de George Land disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=ZfKMq-rYtnc>

millón de adultos, con una media de 31 años, y se encontró que, de acuerdo al test, sólo un 2% de los adultos podían considerarse altamente creativos. Sin embargo, pasando el mismo test a una muestra significativa de 1600 niños de 4-5 años, el 98% de los mismos eran altamente creativos. El estudio se repitió con los mismos niños cinco años después (cuando tenían unos 10 años) y el porcentaje bajó al 30%. Finalmente, cinco años después se pasó otra vez a los mismos niños (entonces de 15 años) y el porcentaje había vuelto a descender, en este caso al 12%. No sólo la escuela afecta la creatividad, es algo que también pasa en la universidad. El profesor Tripp Shealy de Virginia Tech está realizando un estudio longitudinal en su universidad (en desarrollo y no publicado aún) que indica que efectivamente, los alumnos cuando entran en la universidad son más creativos que cuando salen de ella¹⁴.

Tengo una crítica sobre cómo se entiende creatividad en ciertos entornos. Es probable que los niños sean más creativos ya que sus soluciones son más originales y relacionan cosas de una manera mucho más libre. Al mismo tiempo, las soluciones de los niños son poco realistas: conforme más sabemos, más realistas son nuestras soluciones y, por tanto, menos “creativas”. La creatividad de la que estoy hablando es la *creatividad profesional*; una que necesita de años de formación para proponer soluciones *diferentes y eficientes* al tiempo que *correctas*. Esta creatividad adopta distintas formas dependiendo de cada disciplina.

Fomentar esta creatividad profesional se consigue con más problemas abiertos, donde se premie la originalidad de la solución, el usar pensamiento lateral, enfoques nuevos, o al menos evitando algo muy extendido, que es asumir que la única solución buena es la del profesor. A mí me pasó en la asignatura de Álgebra cuando tenía 18 años: en el examen mi profesor me puntuó muy mal un ejercicio consistente en una demostración. Cuando fui a revisar el examen pregunté qué había hecho mal en la demostración y la respuesta fue que nada, que la demostración era correcta, pero que esa no era la manera de hacerlo¹⁵.

Este problema lo ha heredado mi hijo Jan, ahora con 18 años y que en el bachillerato se quejaba constantemente de que la única solución que puntuaba bien era la que quería el profesor. Cuando me cuenta estas cosas me siento decepcionado del sistema educativo, pero lo más interesante fue cuando le pregunté qué tipo de carreras querían hacer sus amigos. Su respuesta fue que todos quieren hacer estudios donde puedan desarrollar la creatividad porque (cito) “somos adolescentes y por tanto rebeldes, y nos rebelamos contra lo que la escuela nos quiere imponer, y una de las cosas que buscan es

eliminar la creatividad” (inmediatamente le pedí permiso para citarlo en mis artículos). Que los jóvenes tengan esta concepción de que el futuro requiere creatividad me da esperanzas para la raza humana.

3.4. Motivación e identidad

Algunos de los temas recurrentes en los congresos y revistas de educación STEM son el absentismo de los estudiantes, el bajo rendimiento académico, el alto grado de abandono de los estudios o la baja representación de ciertos colectivos en estos estudios, como por ejemplo la comunidad latina en los EE.UU. o la baja representación de mujeres en estudios STEM.

Dejaré de lado el problema de la atracción de nuevos estudiantes, ya que nos centramos en los problemas en los estudios de grado, donde nuestro alumnado ya ha decidido cursar estos estudios y se ha matriculado. No es que el problema de la atracción no sea importante, pero esta reflexión se centra en el alumnado que ya tenemos y, en mi opinión, muchos de los problemas que afrontamos entre nuestro alumnado requiere un trabajo profundo en temas de motivación e identidad.

Según Kauser y Coates [30], para tener estudiantes motivados (lo que se denomina *student engagement*) es necesario: 1) Que participen en actividades que les supongan un reto; 2) Demostrar que el conocimiento que están adquiriendo es relevante para su futuro profesional; 3) Convencerlos de que la profesión que han escogido tiene un impacto real en el mundo, estimulándolos para que resuelvan problemas reales de manera creativa; y 4) crear actividades que permitan la colaboración tanto entre los estudiantes como entre los estudiantes y los profesores.

La motivación requiere que el estudiante desarrolle una identidad tanto como profesional, pero también como parte de un colectivo. La educación en informática se centra principalmente en computadores y programación, apreciándose como algo difícil y sólo para personas muy inteligentes. Los planes de estudios ponen el foco en aspectos técnicos de la programación, los computadores y las matemáticas en los primeros años y el desarrollo de proyectos se centra en los últimos cursos. Esto provoca la creación de una identidad técnica, pero no social, lo que puede resultar en una situación muy poco motivadora para el estudiantado [39]. Algunos estudios demuestran la gran influencia que puede tener un cambio de paradigma en el plan de estudios [13, 19, 44].

Es en el primer curso donde el alumnado formará su identidad profesional y social como profesional informático. El desarrollo de esta identidad y mantener al alumnado motivado deberían ser objetivos fundamentales del diseño del primer curso.

además durante años consideré que no era bueno en matemáticas y llegué a cogerles manía, cuando antes de la universidad era uno de los mejores en matemáticas de mi clase.

¹⁴ Información proveniente de la entrevista personal con Tripp Shealy el 2 de mayo de 2018 en Virginia Tech.

¹⁵ Por cierto, que suspendí la asignatura y la segunda vez que la cursé no aprendí más álgebra, sino a contestar lo que se esperaba;

3.5. Diseño

La base de la ingeniería en general y la informática en particular es el diseño. Sin embargo, como se ha dicho en el apartado anterior, la mayoría de planes de estudios están basados en la adquisición de unas bases teóricas al principio, con problemas muy pequeños y controlados y muchas veces con pocos grados de libertad en las soluciones. Esto desmotiva y es contraproducente para la generación de la identidad, pero además lleva a una manera de pensar que luego es difícil cambiar, donde los estudiantes se centran en los árboles obviando el bosque y donde hacen cosas sin entender el porqué, con lagunas importantes en su conocimiento, como nos explica muy claramente Fran Gallego *et al* [17].

El desarrollo de competencias en primeros cursos en asignaturas estancas con pequeños problemas a resolver, sin una visión global, desarrolla una manera de pensar que no es la que deberíamos buscar. La visión holística debe adquirirse de buen principio, y la mejor manera es promoviendo el diseño desde el primer día del grado. Como ejemplo del desarrollo de estas ideas, es interesante observar que el MIT¹⁶ están “girando” el plan de estudios introduciendo los conceptos de ingeniería en primero (a base de diseño de proyectos), dejando las bases teóricas para cursos posteriores. Estos principios también rigen en una de las escuelas más prestigiosas de formación del profesorado STEM de los EE.UU., la *Woodrow Wilson Graduate School of Teaching and Learning*¹⁷.

3.6. Competencias profesionales

Uno de los momentos de mi vida que me he sentido más motivado fue durante la charla inaugural de la conferencia SEFI 2016, que fue impartida por el profesor Gary L. Downey de Virginia Tech (algunas de las ideas presentadas se pueden encontrar en su artículo [14]). En una conferencia especialmente inspiradora, defendía que el modelo educativo actual promovía el “ingeniero como apoyo técnico” cuando debería promover el “ingeniero como solucionador de problemas”. Su argumento era que el modelo de análisis que enseñamos a los alumnos les lleva a considerar que la práctica de la ingeniería acaba llevando a una única respuesta correcta. Esto lleva a un técnico que soluciona problemas cuando aparecen, o bien están completamente definidos (apoyo técnico) mientras que deberíamos preparar a nuestros alumnos para la encontrar y definir problemas (solucionadores de problemas). Según Downey, tenemos un sistema donde el centro está en las matemáticas y la parte más profesional en la periferia, y deberíamos intercambiar estas competencias. A modo de ejemplo, hablé de un estudio

que habían hecho entre profesores seniors y los empleadores de los egresados sobre qué debería haber en un primer curso de ingeniería. La respuesta fue clara: en primero se deben enseñar las bases de la ingeniería. El problema es que cuando les preguntaron qué consideraban que eran las bases de la ingeniería. En este caso, los profesores hablaron de las ciencias (matemáticas, física, ...) y los empleadores de competencias profesionales (trabajo en equipo, comunicación, resolución de problemas, ...). En este punto, el profesor Downey proponía una asignatura en primer curso: “Cómo hablar con los clientes”.

Sin llegar a este extremo, considero que en primer curso hay que potenciar competencias profesionales como las ya mencionadas: comunicación, trabajo en equipo o resolución de problemas. Llevo unos cuantos años dedicado a la enseñanza de la comunicación [32] en una asignatura de 3^{er}-4^o año, una actividad muy apreciada por los alumnos, pero con una queja: “¿Por qué esto no se enseña en primero?” Y tiene razón. Hay cosas que deberíamos incluir en primeros cursos y que se practicarán durante el resto de la carrera.

Hay bastante consenso en ciertas competencias, como comunicación o trabajo en equipo, pero hay dos a las que creo que no se les da la importancia que realmente merecen.

La primera es la adaptabilidad (también conocida como resiliencia o gestión de la incertidumbre). Vuelve a ser el problema presentado por el profesor Downey y del que hablábamos al principio de este apartado: muchas veces los enunciados que reciben los estudiantes tienen *todos* los datos y *nada más* que los datos necesarios para la resolución del problema, donde además buscamos la solución que como profesores opinamos que es la mejor. En un problema real hay datos que no tenemos (y hemos de averiguar) y hay datos que tenemos y que no aportan nada a la búsqueda de la solución, pero muchas veces nuestros alumnos no esperan esto. No sólo la solución no debería ser única, sino que el enunciado debería ser incompleto y con datos inútiles (como la vida misma). También deberíamos indicar que no hay una solución buena, sino muchas soluciones posibles y premiar las mejores, independientemente de si es lo que esperábamos como profesores. Y, siempre que sean buenas soluciones, añadiría un plus de nota a la más originales y creativas, en lugar de castigarlas, como se hace muy a menudo.

La segunda gran olvidada es la ética. Uno de los principios de la acreditación ABET para estudios en informática es “*Recognize professional responsibilities and make informed judgments in computing practice based on legal and ethical principles*”¹⁸. Me preocupa mucho que no forme parte del ADN de nuestros egresados el conocimiento del código deontológico

¹⁶ Véase el proyecto *New Engineering Education Transformation* del MIT en <https://neet.mit.edu>

¹⁷ <https://wgradschool.org>

¹⁸ Es uno de los 5 *Student Outcomes* que propone ABET. Disponible en: <https://www.abet.org/accreditation/accreditation-criteria/criteria-for-accrediting-computing-programs-2020-2021/>

profesional, herramientas como los informes GRI [22] o legislación como las leyes de protección de datos (y dónde aplican). Este tema ha sido motivo de discusión en Jenui, entre otros en los trabajos de Rafa Miñano *et al* [36] o del grupo de investigación al que pertenezco [10]. Sin embargo, sigo sin percibir entre el profesorado que se le dé la importancia que tiene.

Uno de los problemas más discutidos en los foros del profesorado durante la pandemia (especialmente en la época de exámenes de junio-julio de 2020) fue garantizar que los estudiantes tenían un comportamiento ético durante las pruebas de evaluación. Ha sido tan importante que una gran parte del profesorado se ha centrado en este problema y se ha olvidado de que lo principal era crear un entorno adecuado de aprendizaje para el alumnado [50]. Curiosamente, cuando he hablado con mis colegas en los EE.UU. de los problemas de la pandemia no se planteaban esto como problema, debido al código de honor de las universidades americanas¹⁹. Quizá con más trabajo en ética (universitaria y preuniversitaria) tendríamos que dedicar menos esfuerzo a controlar la evaluación y más al proceso de enseñanza-aprendizaje.

A la ética volveré más adelante, en el apartado de la formación humanística (en esta misma página).

3.7. Pensamiento computacional

Hay muchas definiciones de Pensamiento Computacional (PC), algunas contradictorias entre ellas, y otras prácticamente vacías de contenido. Por ello empezaré indicando a qué me refiero cuando hablo de PC. Denning y Tedre [12] lo definen como las habilidades mentales para a) explicar e interpretar el mundo como una serie de procesos de información complejos; y b) diseñar procesos para que los computadores hagan ciertos trabajos.

Es decir, que se busca por un lado poder analizar los procesos que se realizan en diferentes entornos y pensarlos en términos de actividades iterativas, de decisión, bajo petición o por eventos. Está muy cerca de lo que siempre hemos denominado “algorítmica” como una manera de pensar y analizar los problemas, descomponiéndolos de manera estructurada.

Este concepto debe separarse del de “computación”, que para mí sería conocer el computador de manera que se pueden implementar en un sistema informático estos procesos estructurados de una manera eficiente. Esto incluye arquitectura, organización, diferentes tipos (y lenguajes) de programación, metodologías, algoritmos, herramientas, etcétera.

Mientras que la algorítmica entendida como la capacidad de resolver problemas de manera algorítmica se debería trabajar en profundidad en primer curso, aunque se siga desarrollando durante todo el grado

(durante toda la vida, de hecho), la computación es el corazón del grado y se desarrolla en todas y cada una de las actividades del plan de estudios. Por esto pienso que en primer curso debe haber un énfasis en la algorítmica cuando ahora en muchos planes de estudios el foco está en la programación (que es una parte de la computación), haciendo que las mayores dificultades del curso se centren en *programar* una solución, en lugar de *imaginar* una solución.

3.8. Formación humanística

Puede parecer una *boutade*, pero no lo es. Es necesario que el estudiantado tenga una visión profunda de la informática, pero contextualizada en la sociedad actual. Porque no se trata solamente de introducir temas éticos y legales como hablábamos al final del apartado 3.6, sino de introducir una manera de pensar determinada. No sé si hace falta llegar al extremo de Purdue donde, como se comentó, los alumnos de primero deben leer “La República” de Platón, pero sí hay muchos textos contemporáneos interesantes que mueven a la reflexión. Por ejemplo, la filosofía de la creatividad de Berys Gaut [18] o ensayos y reflexiones sobre la sociedad actual como los trabajos de Byung-Chul Han [25], Nassim Nicholas Taleb [45] o Naomi Klein [29].

Es especialmente interesante estudiar otros trabajos que relacionan filosofía, ciencia o psicología con informática, como por ejemplo el *Gödel, Escher, Bach* de Hofstadter [26], *The Emperor’s New Mind* de Penrose [38] o los ya comentados en otras partes de este trabajo de Joseph E. Aoun [2] y Denning y Tendre [12]. Y por supuesto, hay que incluir la historia de la informática.

También es interesante trabajar el funcionamiento de la mente y de la manera de aprender (algo muy importante para tener éxito en la carrera), como los trabajos de Hofstadter y Sander [27], Daniel Kahneman [28] o Ruiz Martín [41].

Se pueden utilizar estos libros u otros (o capítulos de los mismos) como herramienta de formación sobre el rol de la informática y la tecnología en la sociedad, pero también se pueden utilizar libros de ciencia ficción (empezando por los clásicos de Asimov), películas o series de TV ¿O acaso no se puede reflexionar tomando como base *Blade Runner* (1982), *Gattaca* (1997), *The Matrix* (1999), *AI* (2001) *Minority Report* (2002), *Ex Machina* (2014), o series como *Mr. Robot* o *Black Mirror*?

No quisiera acabar este apartado sin incidir en que, para mí, la formación humanística de una persona que estudia ingeniería (en general, informática en particular) es imprescindible desde el punto de vista de la formación técnica. Dar la capacidad de crear tecnología a

¹⁹ Por ejemplo, el código de Stanford por lo que se refiere a Computer Science:

<https://web.stanford.edu/class/archive/cs/cs107/cs107.1212/handouts/3a-Honor-Code.pdf>

una persona sin formación ética y filosófica, sin capacidad para plantearse las implicaciones sociales, ambientales y éticas de su trabajo es muy peligroso para la sociedad. El objetivo último de la educación universitaria no debería ser el utilitarismo conceptual del siglo XIX donde se crean individuos “útiles para trabajar”, sino ciudadanos responsables, con iniciativa y creatividad para solventar los problemas que tenemos como sociedad.

En alguna discusión se me ha argumentado que estas ideas ya se aprenden en los estudios preuniversitarios. Mi respuesta siempre es la misma: en secundaria y en el bachillerato se estudia filosofía, lengua o historia, pero también tecnología, física o matemáticas. Cuando el alumnado llega al grado, ¿acaso no les enseñamos más tecnología, física o matemáticas? Porque consideramos que lo aprendido antes está bien y es una buena base, pero insuficiente para lo que exige la profesión. Pues con historia, filosofía o ética pasa exactamente lo mismo: hay que ponerla en el contexto de la profesión e incluirla en los planes de estudios²⁰.

4. Un ejemplo de plan de estudios

Dice el refranero que el movimiento se demuestra andando. Para ello creo interesante proponer unas ideas sobre un plan de estudios de Ingeniería Informática ideal (según mis ideas), discutible, mejorable, quizá inalcanzable, pero aquel en el que creo.

4.1. Precondiciones

Poder desarrollar la propuesta necesito la complicidad del lector y debo pedirle que asuma una serie de suposiciones que describo a continuación. Este trabajo pretende proponer un modelo (imperfecto) al que aspirar. Hay ciertas variables de entorno que seguramente marcarán la imposibilidad de realizar todos los cambios propuestos. Sin embargo, vamos a realizar un ejercicio de imaginación y suponer que:

1. El plan de estudios de grado es en Ingeniería Informática con especialidades, en particular todas las reconocidas por ACM e IEEE. También asumiré que hay sub-especialidades adicionales (propias de cada centro) y que cada estudiante puede cursar diversas especialidades.
2. No tenemos que definir los planes de estudios teniendo en cuenta grupos interesados en “¿dónde está mi asignatura?”, sino que se puede diseñar el plan de estudios en función de lo que es mejor para los estudiantes, los profesores y la profesión.
3. Tenemos recursos suficientes. Cuando imparto seminarios sobre temas docentes, muchas veces

me encuentro ante una negatividad expresada como “esto requiere recursos que no tenemos”. La falta de recursos es una gran excusa para no intentar nada, pero la experiencia me ha demostrado que plantear un objetivo ambicioso y luego llegar donde los recursos nos permiten es un gran ejercicio. Empezar derrotados por falta de recursos es una mala política. Además, algunas veces no es que falten recursos, sino que se necesita una reorganización de los mismos.

4. Finalmente, vamos a suponer que el marco normativo, tanto nacional como de las propias universidades, nos permite una flexibilidad que generalmente no tenemos. Es decir, vamos a suponer que no hay restricciones normativas, más bien vamos a pensar qué deberíamos cambiar en dichas normativas para alcanzar nuestros objetivos.

Con estas suposiciones podemos hacer una reflexión sobre los cambios que deberíamos hacer, más allá de si podremos o no realizarlos. Dejo para la sección 5 una reflexión sobre si estas suposiciones son realizables.

4.2. Reflexiones sobre el calendario

Voy a basarme en el calendario del centro donde fui alumno y soy ahora profesor, la Facultat d'Informàtica de Barcelona (FIB). En el curso 2019/20, las clases empezaron el 9 de septiembre de 2019 y los exámenes finalizaron el 23 de junio de 2020. Aunque el año 2020 no es un buen ejemplo debido a su excepcionalidad, tomaré estas fechas (como debieron ser) como principio y final del curso en mi propuesta.

En este modelo, los días hábiles son 182, divididos en 142 de clases, 28 de periodo de exámenes (en enero y junio) y 12 de periodos administrativos (en enero-febrero, dedicados a evaluaciones curriculares y matrícula del segundo cuatrimestre, dado que mi centro realiza dos matrículas al año, una en cada semestre).

Mi primera propuesta es sobre el sistema de evaluación. Soy contrario al sistema de exámenes finales [33]: creo en la evaluación continua, principalmente de proyectos. Así pues, en mi propuesta no son necesarios los 28 días dedicados al periodo de exámenes (más adelante se justificará que no son necesarios los exámenes finales).

Mi segunda propuesta es sobre el periodo administrativo (en particular matriculación) que en mi facultad ocupa 12 días. En la propuesta que se desgranará más adelante hay mucha flexibilidad en la elección de qué estudiar, por lo que creo más en una “matriculación adaptativa” a lo largo del año (no en primer curso, pero

²⁰ Lo que tampoco es una idea nueva. Se puede ver en la conferencia que impartió Edwin H. Land en el MIT en 1957, donde pedía (entre otras cosas revolucionarias) dedicar los dos primeros años de carrera a llevar a los estudiantes a la madurez mental, con un proyecto propio desde el principio y con el apoyo de un tutor

para que sean conocedores de la ciencia, pero también de la literatura y las artes en general. Véase el discurso en <http://groups.csail.mit.edu/mac/users/hal/misc/generation-of-greatness.html>

si en el resto de cursos), por lo que el periodo administrativo de enero-febrero tampoco sería necesario.

Me quedan, por tanto, 182 días lectivos para desarrollar el curso. Debo añadir que hay periodos lectivos que me parecen muy largos. En mi propuesta añadiría dos semanas no lectivas, una de ellas a primeros de noviembre y otra entre la última semana de febrero y la primera de marzo, dependiendo de cuándo fuera la Semana Santa ese año. Estas semanas no deben considerarse necesariamente “de vacaciones”, sino más bien de *buffer*: unos días de puesta al día de cosas atrasadas, o simplemente de salida de la rutina (que también puede significar unos días de asueto). Descartando estos 10 días, nos quedan 172 días lectivos, 30 más que con el modelo actual. En semanas, un poco más de 34 semanas efectivas.

4.3. ¿Un modelo basado en asignaturas?

¿Son las asignaturas la mejor manera de articular un plan de estudios? Creo que simplemente es la más fácil y cómoda. De hecho, el ya mencionado Ken Robinson indicaba que las asignaturas son una herramienta administrativa ideal para asignar aulas, horarios, profesores y otros recursos. Pero si buscamos transformación educativa debemos cambiar de modelo. Permíteme ilustrar mi argumento con un símil: lo que llamo el *modelo VoD*.

Los modelos actuales de *Video on Demand (VoD)* están cambiando la manera de hacer series en televisión. Tradicionalmente las series se basaban en temporadas de un número fijo de episodios (usualmente 22) donde cada episodio duraba un tiempo determinado (sobre 45 minutos) diseñados para insertar anuncios en lugares determinados. Esto era debido a un modelo de difusión de la serie donde se suponía un capítulo semanal que debía ocupar un hueco de una hora, considerando 15 minutos de anuncios. Esto obligaba a los creadores a alargar innecesariamente algún capítulo, o bien recortarlo (para adaptarse al tiempo asignado). Incluso debían poner a los protagonistas en alguna situación comprometida cada 10-15 minutos para hacer la pausa de anuncios en un momento de tensión, con el objetivo de que la gente no abandonara el canal en la pausa publicitaria (método del *cliffhanger*).

El *modelo VoD* da una libertad creativa que no existía antes. Por ejemplo, en la serie *Juego de Tronos* (de HBO) la duración de los capítulos está en un rango de entre 50 y 82 minutos, y en *Black Mirror* (ahora en Netflix) los episodios emitidos tienen una duración entre 41 y 89 minutos. Esto es debido a la libertad creativa que ofrece poder hacer episodios de la duración que los creadores consideren necesario para lo que quieren narrar, sin obligaciones de alargar o encoger ni de hacer pausas publicitarias. En este modelo los creadores diseñan los capítulos basándose en criterios de narración, no en otras restricciones.

Volviendo a los planes de estudios, nuestra unidad es la asignatura. En algunas escuelas, las asignaturas son *todas* de 6 créditos para simplificar la organización y por no haber sido diseñadas en función de sus objetivos educativos, sino de un reparto de poder en créditos. Mi propuesta es romper el modelo de *únicamente* asignaturas para pasar a un modelo de objetivos educativos, con asignaturas, pero también con proyectos y seminarios.

4.4. Organización escolar

Que esté en contra de que se use el concepto de asignatura como unidad de contabilidad no significa que esté en contra de que haya asignaturas. Simplemente opino que el modelo de contabilidad deben ser los créditos y que la asignatura no es la única unidad organizativa. Yo veo tres tipos de unidad organizativa: proyectos, seminarios y asignaturas.

- **Proyectos:** donde los estudiantes deben desarrollar un proyecto sobre un enunciado determinado (que será más dirigido en primeros cursos de proyectos y con más grados de libertad en cursos posteriores). Los proyectos pueden ser grupales o individuales, incluso pueden tener partes individuales y partes grupales, no necesariamente siempre en compañía de los mismos compañeros. Los estudiantes tienen a su disposición el enunciado, apuntes y otras herramientas (dependiendo del objetivo del proyecto) como simuladores, cursos *on-line* o manuales. Deben buscar información y tienen a su disposición profesores responsables del proyecto para realizar consultas (y por supuesto, este trabajo de los profesores forma parte de su encargo docente). Tienen espacios de trabajo, desde salas de reuniones hasta laboratorios, pero no existe el concepto de “clase de laboratorio” asociada al proyecto ni tampoco clases magistrales. Pero sí que cada proyecto debe tener la lista de los seminarios que lo complementan. Reconozco mi debilidad por el concepto usado en Olin (véase apartado 2.4) de tener tres proyectos especiales: uno de artes, humanidades y ciencias sociales, otro en colaboración con empresas u ONG y un tercero (posiblemente en último curso) de emprendimiento, donde el proyecto sea totalmente propuesto por los estudiantes.
- **Seminarios:** unidades de pocos créditos, a impartir diversas veces durante el curso para que los estudiantes la tomen cuando sea necesaria. Se asemeja a una asignatura, pero siempre es complemento de un proyecto. Puede tener (depende del seminario) clases magistrales, clases de problemas y laboratorios guiados. Lo que no debe tener una práctica asociada, pues al ser utilizada en un proyecto se le supone. En este modelo el seminario no tiene una evaluación sumativa, sino que al

estar asociado a un proyecto su evaluación consiste en la aplicación correcta de lo aprendido en el proyecto. Sin embargo, es interesante hacer una evaluación diagnóstica (al principio del seminario) y evaluación formativa (autoevaluación, evaluación por pares, rúbricas, ...) y que haya seguimiento y realimentación por parte del profesorado, tanto del seminario como del proyecto.

- Asignaturas: como estructura organizativa, la asignatura es más tradicional. Puede ser anual, semestral u otras posibilidades. Tiene un principio y un final para todos los alumnos en el mismo momento (no como el seminario). Debe tener una evaluación sumativa, pero con posibilidad de “recuperación”. Es decir, se puede suspender una parte de la asignatura, pero debe haber medios de recuperar lo suspendido. Debe tener realimentación y evaluación formativa. Puede tener laboratorios, ensayos, prácticas asociadas (pequeñas) y sobre todo ser muy activa. Aquí las metodologías usadas pueden ir de clase magistral a *flipped classroom* pasando por gamificación o cualquier metodología activa que se desee.

Podría interpretarse que se está proponiendo un sistema de Aprendizaje Basado en Proyectos, pero no es exactamente esto. La organización propuesta con proyectos, seminarios y asignaturas, intercalando teoría y práctica y guiando el aprendizaje más que realizando descubrimiento no sería aceptada por algunos puristas del ABP, siendo la propuesta más cercana al Anclaje o Andamiaje Instruccional (*Instructional Scaffolding*) de Jerome Bruner²¹ como el propuesto en la metodología *Design Based Learning* [47].

4.5. Primer curso

El objetivo del primer año es trabajar las bases de la Ingeniería Informática: obtener una visión global de las especialidades y los tipos de problemas que se tratan, obtener unos conocimientos básicos de ciertas materias y una introducción a ciertas competencias como comunicación, diseño y pensamiento computacional. Pero, sobre todo, se busca la motivación y el aprendizaje profundo, que los estudiantes sepan de qué van los estudios que han elegido, los retos que afrontan, las posibilidades, las opciones y que se formen la identidad de ingenieros informáticos.

Para ello propongo (insisto que podría haber otras posibilidades igualmente válidas): dos asignaturas anuales y cuatro proyectos, más los seminarios necesarios, que deberían sumar entre todo 60 créditos.

Las dos asignaturas serían: Algorítmica y Pensamiento Computacional (APC) y Bases de la Ingeniería Informática (BII).

- La asignatura APC iría orientada a la resolución de problemas por medios algorítmicos, con el objetivo de modelar la manera de pensar. Debería incluir desarrollo de algoritmos secuenciales y paralelos (conceptos básicos, insisto), Programación imperativa, lógica, basada en objetos y por eventos. No está orientada a aprender JAVA, C o Python, pero estos lenguajes podrían utilizarse para resolver algunos problemas. Pero también habría que plantear problemas que se resolvieran con una hoja de cálculo o con adaptaciones de programas o uso de bibliotecas con lenguajes como R y Octave. Hay que insistir en la depuración de programas, la organización modular y el uso de herramientas organizativas (como el control de versiones). Por ejemplo, yo dedicaría un par de meses sólo a depuración de programas (ya hechos).
- La asignatura Bases de la Ingeniería Informática (BII) tendría como resultados de aprendizaje conocer la profesión informática. Al acabar la asignatura cualquier estudiante debería tener claro las diferentes especialidades de la carrera y los roles “habituales” de la profesión. Se hablaría de cosas como *Machine Learning*, DEVOPS, Seguridad, Organización, *Cloud Computing* entre otros muchos conceptos tecnológicos, así como el código deontológico, la formación en ética y la formación humanística. La asignatura se desarrollaría a partir de pequeños proyectos o trabajos potenciando el trabajo en equipo, la comunicación y el pensamiento crítico. Esta asignatura sería fundamental para establecer el concepto de identidad y pertenencia a la profesión y por tanto la visión global y la motivación. No debe pensarse que como algunos temas se trabajan en esta asignatura (como ética, comunicación y trabajo en equipo) ya se han aprendido y no se volverá a utilizar (el típico error de compartimentar el conocimiento). Debe dejarse claro que en el resto de la carrera se exigirá trabajo en equipo, reflexión ética y legal sobre cada proyecto y realizar buenos informes escritos y presentaciones.

Los proyectos podrían ser muchos, y deberíamos adaptarlos a las posibles especialidades que ofrezca el centro o aquello en lo que somos expertos²². A modo de ejemplo propongo cuatro proyectos que cubrirían (pienso) un amplio espectro de conocimientos:

²¹ Muy interesante la reflexión de Mark Guzdial sobre *scaffolding* en programación que se puede encontrar en [23]

²² Se podría argumentar que los alumnos no tienen la madurez para trabajar en estos proyectos. No lo creo, y los trabajos de Barrachina *et al* [3, 4] lo demuestran.

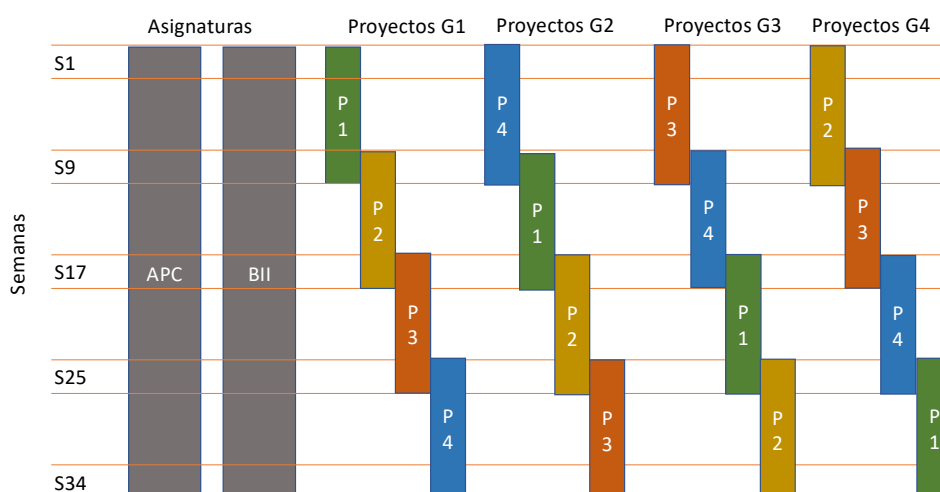


Figura 1: propuesta de primer curso con dos asignaturas y cuatro proyectos para cuatro grupos (G1 a G4)

- P1: El Invernadero. Se define un invernadero con sensores (de humedad en el suelo y en el ambiente, luz, temperatura, corriente de aire, medidores de radiación infrarroja...) y una serie de actuadores o sistemas automatizados a controlar (riego, abridores de ventanas, suministro de abonos, control de clima, humedad, iluminación, ventilación). Conceptos: recogida de datos y gestión del histórico de datos, rangos de medida, velocidad de respuesta, sensibilidad y resolución, datos discretos y continuos, proceso de verificación y conteo. Seminarios: comunicaciones, programación a bajo nivel, circuitos, estructura de computadores (básica)
- P2: Logística. Sobre un sistema complejo como un puerto o un aeropuerto se buscaría automatizar procesos y operaciones. Conceptos: adaptabilidad, mejora continua, tiempo real, programación por eventos, bases de datos. Seminarios: teoría de grafos, bases de datos (a nivel de usuario, no diseñador), concurrencia y paralelismo (básico)
- P3. Reconocedor facial. Recogida de información por cámaras y definición de un sistema de reconocimiento facial entrenando un sistema de reconocimiento. Seminarios: álgebra lineal, estadística, codificación de la información, bases de datos, algoritmos de aprendizaje.
- P4. Gestión de un departamento de informática. Conceptos: copia de seguridad, diseño de almacenamiento, despliegue de programas, monitorización. Seminarios: almacenamiento de la información, seguridad de datos, nociones básicas de redes y sistemas, ciberseguridad, representación

gráfica de la información, toma de decisiones, cálculo de costes.

Los 4 proyectos se desarrollarían a lo largo de 9 semanas efectivas con un solapamiento de una semana (véase la Figura 1). Para una mejor organización, vamos a asumir que se divide al alumnado de primero en cuatro grupos (G1 a G4) de manera que todos los grupos desarrollan los mismos 4 proyectos (P1 a P4) pero cada grupo lo desarrolla en un instante de tiempo diferente, de manera que los recursos (tanto de profesorado como laboratorios o seminarios) queda equilibrado.

Como ya se ha dicho, estos proyectos son solamente un ejemplo y pueden ser totalmente diferentes, dependiendo de los recursos materiales y humanos disponibles en cada centro.

Los seminarios asociados se irían ofreciendo a lo largo del año. Podrían ser intensivos (un par de semanas) y ofrecerse al menos cuatro veces al año para garantizar que los estudiantes de cada proyecto los pueden tomar cuando lo necesiten. Una buena parte de estos seminarios podría consistir en vídeos, apuntes o libros y concentrar el trabajo del profesorado en resolver dudas, proponer actividades o guiar el aprendizaje más allá de poder resolver el proyecto.

Quiero hacer notar la importancia del aprendizaje de temas como ensamblador, algebra lineal o teoría de grafos (temas que se suelen “olvidar” tras aprobar la asignatura) en un contexto real y ante un reto. Según las teorías expuestas anteriormente, se producirá un aprendizaje profundo al tiempo que crecerá la motivación, la identidad como informático y el conocimiento de la profesión y la sensación de pertenencia a dicha profesión.

4.6. Segundo curso

Nuevamente, cada estudiante debería cursar dos asignaturas anuales: Gestión de Proyectos (GP) y Toma de Decisiones y Resolución de Problemas (TDRP) y cuatro proyectos con los seminarios correspondientes.

- La asignatura Gestión de Proyectos (GP) es fundamental y se debe practicar lo aprendido en todos los proyectos de segundo curso en adelante. Puede parecer un contrasentido que no se haya empezado en primero por esta asignatura, pero considero que hay que tener una experiencia en haber realizado algún proyecto antes de aprender a trabajar de manera sistemática. De todas formas, ya se comentó con anterioridad que en primero los proyectos serían mucho más guiados, reduciéndose esta guía conforme se avanza en el plan de estudios. Esta asignatura incluiría conceptos avanzados de comunicación (documentación, presentación a clientes, etcétera), trabajo en equipo (*brainstorming*, configuración de equipos, reporting, etcétera). También temas como fases de un proyecto, modelos (como prototipos o modelos ágiles), métricas para proyectos, formalización, modelos de calidad, gestión de riesgos, planificación temporal, informe económico y de impacto social y ambiental, entorno legal, licencias, etcétera. Un tema importante es que mientras la asignatura BII de primero trabajaría todo lo relacionado con proyectos principalmente a nivel de conocimiento (según la taxonomía de Bloom), GP lo haría a nivel de comprensión, por lo que se deberían estudiar muchos ejemplos, con estudio de casos, ver qué puede ser un riesgo y cómo mejorar el proyecto. El nivel de aplicación se adquiriría desarrollando proyectos.
- La asignatura Toma de Decisiones y Resolución de Problemas (TDRP) se basaría en definir problemas, proponer soluciones, ver qué datos se necesitan para tomar decisiones sobre las diferentes soluciones, recoger dichos datos, analizarlos y tomar decisiones justificadas. Se tiene que promover el pensamiento complejo, así como el pensamiento lateral, la creatividad y el diseño. Algunos temas a tratar son: representación de la información, análisis de riesgos, estadística, calidad de servicio, flujos de información, herramientas Big Data e IA, así como los conceptos avanzados de programación necesarios trabajarlos.

En este caso, pienso que no debería haber solamente una oferta de cuatro proyectos. Como cada centro ten-

dría sus especialidades, parece lógico pensar que habría algunos proyectos “iniciáticos” de esas especialidades. Es mi opinión que todos ellos podrían tomarse en segundo curso (un máximo de cuatro). Pienso que a partir de primer curso los proyectos deberían ordenarse por un sistema de prerequisites, aunque estos fueran flexibles.

4.7. Resto de cursos

Si nos fijamos, en la propuesta el primer curso ha supuesto aprender una buena parte de las bases de la informática, y entre primer y segundo curso de deberían haber ofrecido la mayoría de los conocimientos básicos que todo egresado debería tener. En este momento cada estudiante debería tener claras las posibilidades de la profesión y en qué consisten las especialidades. Es interesante pues que decidan su propio camino, alcanzando al menos una de las especialidades, pero pudiendo alcanzar más de una, así como diversas subespecialidades.

El resto de cursos deberían consistir en unas pocas asignaturas ya especializadas (máximo dos por semestre) y seguir con el concepto de proyectos. Creo que sería muy interesante que los proyectos de tercer y cuarto curso traten más de una especialidad y que equipos que trabajen en estos proyectos sean formados por alumnos de esas especialidades que trabajen en colaboración, pero resolviendo la parte más cercana a su especialidad.

También (como ya se ha comentado) algunos proyectos deberían realizarse en colaboración con empresas u ONG (preferentemente uno con empresa y uno con una ONG, pero entiendo la dificultad que podría suponer esto). Igualmente, al menos un proyecto debería centrarse en un tema de artes, humanidades o ciencias sociales. Finalmente, al menos un proyecto debería ser enteramente propuesto por los componentes del grupo, para fomentar la creatividad y el emprendimiento²³.

4.8. El Trabajo de Final de Grado (TFG)

Según los RD 1393/2007 y modificación RD 43/2015, “El trabajo de fin de Grado tendrá un mínimo de 6 créditos y un máximo del 12,5 por ciento del total de los créditos del título. Deberá realizarse en la fase final del plan de estudios y estar orientado a la evaluación de competencias asociadas al título”.

En el entorno que estamos definiendo no sería necesario realizar un TFG, ya que la mayoría de los créditos cursados serían en proyectos orientados a las competencias asociadas al título. Esto permite una gran flexibilidad en el propio diseño del plan de estudios y especialmente ante dobles titulaciones o semestres en otras

²³ La RAE no acepta “emprendería” a pesar de que es el término que más he visto en artículos en castellano. Sí acepta “emprendimiento”, recomendado también por (FundéuRAE)

universidades (es tan sencillo como considerar un par de proyectos de último curso – o simplemente el propuesto por los componentes del grupo – como TFG si es necesario para convalidaciones).

Por si alguien se lo está preguntando, no hay ninguna ley que indique que el TFG no pueda hacerse en grupo. Es simplemente una tradición, aunque alguna universidad haya decidido incluirlo en sus normativas. Esto me lleva a la consideración de que, en mi opinión, el TFG es un concepto obsoleto en un entorno como la ingeniería, donde se desarrollan muchos proyectos a lo largo de los estudios.

4.9. Métodos de evaluación

Como la mayoría de las cosas, la informática se aprende cometiendo errores. Luego hace falta saber qué errores se han cometido y solucionarlos. Es importante que se les ofrezca a los estudiantes realimentación de qué hacen bien y qué no tan bien, y que puedan corregir sus errores (y volver a entregar). Por ello creo que el arma docente definitiva es la realimentación (*feedback*). No se puede hacer una tutoría 1 a 1 (un profesor por estudiante) pero como explica Bloom en *The 2 Sigma problem* [7] (véase también la fantástica explicación de Miguel Zapata-Ros [49]) una clase pequeña con evaluación formativa y realimentación consigue resultados similares. Mi propuesta se basa en el Aprendizaje Basado en Proyectos (al principio de la carrera) y en Retos (hacia el final) pero como se indicó anteriormente, no es una implementación ortodoxa de estas metodologías, dada la coexistencia de asignaturas, proyectos y seminarios.

La evaluación debe ser principalmente formativa, pero sabemos que la evaluación sumativa es también una de nuestras funciones como profesores. No tiene sentido evaluar de manera sumativa los seminarios, dado que como están orientados al desarrollo de proyectos. Para cada asignatura y proyecto hay que desarrollar un diseño instruccional [35, 40] de cada asignatura y proyecto de manera que siga el principio de alineamiento constructivo de Biggs [6] que dice que lo que un alumno debe hacer para aprobar, ha de ser lo mismo que lo que debe hacer para aprender.

¿Cómo podemos, pues, certificar el aprendizaje del alumnado? Primero hay que definir las competencias a adquirir a lo largo de la carrera y luego hay que demostrar que se han adquirido por medio de evidencias.

Para hablar de competencias utilizaré la definición propuesta por ACM e IEEE para el CC2020, es decir: *Competencia = Conocimiento + Habilidades + Actitudes*²⁴

Hay que luchar contra la denigración que se ha producido entre cierto sector del profesorado sobre el aprendizaje por competencias. Hay gente radicalmente

en contra porque piensan que, evaluando por competencias no se aprenden contenidos. Supongo que por ignorancia asumen que se pierden conocimientos, cuando la definición de competencia *incluye* los conocimientos (y amplía esta idea). Es posible que haya una confusión entre *skills* (aquí habilidades) y *competencies* que lleva a esta confusión.

Una buena definición de las competencias a adquirir en un grado de ingeniería informática (y en cada una de sus especialidades) es fundamental y no es tarea fácil. Además, hay que conseguir definirlo por niveles de adquisición (que pueden ser los niveles de la taxonomía de Bloom) pero, si se tiene esta definición, la evaluación consistiría en un compendio de evidencias que se han adquirido *todas* las competencias *al nivel requerido*.

5. Apostillas: ¿Son factibles las condiciones asumidas?

Para el ejemplo del apartado 4 pedí al lector que hiciera una serie de suposiciones. Vamos ahora a meditar sobre ellas ¿son alcanzables?

5.1. Un único título de Grado

Según el estudio de Corominas y Sacristán de enero de 2019 [11], en el curso 2017-18 figuraban en España (en el Registro de Universidades, Centros y Títulos) un total de 2.713 grados con 560 nombres distintos. Respecto a informática, hay un total de 95 centros donde se ofertan titulaciones con un total de 25 denominaciones diferentes.

Hay una sobreoferta de titulaciones diferentes, y esto es un problema ¿Sabéis acaso los jóvenes de 17 años la diferencia entre “Tecnologías de la Información” y “Sistemas de Información”? Si muchos de nuestros profesores tampoco lo tienen claro. Además, el mundo cambiante de la informática hace que cada vez aparezcan nuevas especialidades, y otras se unifiquen o se reinventen.

Mi opinión es que no hemos de aprovechar modas para hacer aparecer titulaciones. Estoy totalmente en contra de titulaciones de grado como “Inteligencia Artificial”, “Ciberseguridad”, “*Cloud Computing*” o “*Data Science*”. Pienso que deberíamos ofertar una única titulación: “Ingeniería Informática”, con especializaciones y un primer curso común. Toda la publicidad que suponen las noticias sobre inteligencia artificial, supercomputación, ciberseguridad, etcétera, deberíamos aprovecharla para explicar a la sociedad (especialmente a los jóvenes, empezando en educación primaria) que todo eso es Ingeniería Informática (en

²⁴ A veces resulta complicado traducir estos términos. La definición original en inglés es: Competency= Knowledge + Skills + Dispositions

inglés *Computing*). Aprovechemos para educar a la sociedad y que se comprenda que la Informática es una rama del saber cambiante, adaptable, probablemente la que evoluciona más rápido y afecta a más campos del conocimiento. Y que se necesitan más personas trabajando en ingeniería informática.

Respecto a las especialidades, el *Computing Curricula 2005* de ACM e IEEE presentaba cinco especialidades en ingeniería informática: *Computer Engineering* (CE), *Computer Science* (CS), *Information Systems* (IS), *Information Technology* (IT) y *Software Engineering* (SE). El nuevo *Computing Curricula 2020*²⁵ [46, 48] incluye dos más, *Cybersecurity* (CSEC) y *Data Science* (DS). Todas las especialidades tienen un informe elaborado por ACM e IEEE con su descripción (en el web de ACM²⁶ se pueden encontrar los enlaces a todos los informes, incluido el de DS, publicado en enero de 2021).

¿Deberían los estudiantes tener una única especialidad? En muchos casos pienso que es así por comodidad del sistema universitario. Es más fácil gestionar un plan de estudios con pocos grados de libertad, con obligatorias comunes y de especialidad, y donde un estudiante elige una y sólo una especialidad, en la cual, además, debe situarse su Trabajo de Final de Grado. Mi opinión es que deben definirse diversas especialidades y subespecialidades (o especialidades adicionales). De hecho, la ley no indica en ningún lado que un estudiante deba tener una sola especialidad.

La libertad de ofertar más de una especialidad (quizá obligando a que se curse al menos una de las “oficiales”) y de tener especialidades “no oficiales” podría ofrecer la adaptabilidad necesaria para incluir, de manera rápida, los cambios reales que se producen en la sociedad. Por ejemplo, podría haber especialidades en “videojuegos”, “robótica”, “inteligencia artificial”, etcétera, aunque no estuvieran reconocidas por ACM e IEEE. Así, podríamos tener estudiantes con especialidades “*Computer Science and Artificial Intelligence*”, “*Computer Science and Big Data*”, “*Software Engineering and Videogames*” o “*Information Technologies, Cybersecurity and Cloud Computing*” por poner algunos ejemplos.

Otro detalle adicional es que, como pasa en la actualidad, no todas las escuelas y facultades de informática deberían ofertar todas las especialidades. Como pasa con los másteres²⁷, una escuela podría centrarse en ciertas especialidades del grado para distinguirse de otros centros.

5.2. Diseñar, no repartir

Siento decirlo así, pero tengo la sensación de que muchos planes de estudios son un mero reparto de poder, y creo que no soy el único.

Defiendo la visión global del plan de estudios (unos de los apartados de estas reflexiones, el 3.2, lleva por título “el plan de estudios holístico”). Creo que en muchos centros el cambio a Bolonia (y al BOE definiendo el Grado) fue simplemente lo que he definido como “adaptación educativa” (apartado 2.3), una adaptación cambiando lo mínimo para cumplir con la ley. Así, en algunos sitios se metió una carrera de cinco años en cuatro, en muchos casos sin implementar las recomendaciones del libro blanco [1]. Además, en muchas ocasiones las escuelas consideraban erróneo el modelo de grado con especialidades y Máster generalista, un modelo que para mí se ha malinterpretado. Recomiendo la lectura del artículo de Froyd, Wankat y Smith sobre cambios en 100 años de educación en ingeniería [15]. En este artículo, los autores indican que, con anterioridad a la Segunda Guerra Mundial, la ingeniería en los Estados Unidos era principalmente práctica, pero en los tiempos de guerra se observó que los ingenieros tenían una deficiencia en las bases científicas de su profesión. Así, en tiempos de la guerra fría y tras la importación de ingenieros europeos, se decidió hacer mayor énfasis en la ciencia tras la ingeniería y en el análisis analítico en los estudios. Incluso se llegó a plantear tener universidades especializadas en estudios profesionales y otras en científico-profesionales (orientados a la investigación). Sin embargo, esta propuesta no llegó a realizarse porque las universidades no querían renunciar al dinero que representaba las becas en investigación, sobre todo las provenientes del sector militar. Siguiendo esta filosofía, Bolonia promovía un grado con especialización (más profesional) y un máster más profundo en fundamentos científicos. El problema es que no hemos hecho un grado más profesional, sino que hemos perpetuado (para bien o para mal, eso no lo voy a discutir) un grado con los dos primeros cursos muy teóricos en fundamentos, de manera que hemos metido en los dos primeros cursos del grado aquello que se suponía que debería estar en el máster.

Soy consciente de que es difícil, pero el diseño del plan de estudios debería estar en manos de expertos en educación de la informática (y no sólo expertos en su campo), con una visión global y que no tengan la presión de tener que “repartir prebendas”. Esto se puede conseguir con voluntad política por parte de la Dirección de la Escuela, pero también del Rectorado.

²⁵ En el cual me siento honrado de haber participado como miembro de la *Task Force*. El documento final puede encontrarse en <https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/curricula-recommendations/cc2020.pdf>

²⁶ En la página de ACM están todos los currículos, incluyendo las versiones anteriores <https://www.acm.org/education/curricula-recommendations>

²⁷ No voy a entrar en una discusión sobre másteres para no alargarme innecesariamente. Como diría Michael Ende, “Esa es otra historia y debe ser contada en otra ocasión”.

5.3. Más recursos

La propuesta no es utópica ni irrealizable (en otros lugares hacen cosas similares) ni demasiado costosa en recursos. No requiere más aulas ni más laboratorios, ni más profesorado, ni que este trabaje más (aunque sí requiere que trabaje de una manera diferente). Si algo exige es un gran trabajo para el grupo de personas que diseñen el plan de estudios holístico y también un esfuerzo de coordinación para mantenerlo y que no se degrade. Pero conozco mucha gente (en particular entre los asistentes a JENUI) que disfrutaría mucho trabajando en esto. Aprovechemos esta oportunidad en que se junta la necesidad de cambiar, el conocimiento de cómo hacerlo y la voluntad de hacerlo por parte de una comunidad.

La propuesta puede parecer compleja, pero me gustaría recalcar que hay cosas que se simplifican. O al menos se pueden simplificar. Por ejemplo, se simplifica el calendario escolar y la matriculación (aquí me he adelantado, véase el siguiente apartado). Se habla de adquirir competencias, *todas* las competencias, con opciones para aprender del error y trabajar las competencias que consideremos que no han sido adquiridas realizando nuevos proyectos, recuperando parte de asignaturas o siguiendo otros seminarios. Es decir, que para el estudiantado sería más fácil establecer un plan de adquisición de las competencias, por lo que se simplificaría la organización académica.

No quiero que el lector piense que en mi opinión no se necesitan más recursos. En realidad, pienso que la universidad española sobrevive gracias al heroico esfuerzo de los que trabajamos en ella, haciendo mucho más de lo que toca (bueno, muchos de nosotros). Por ello pienso que sí, necesitamos *muchos* más recursos. En mi opinión no se trata de aumentar, sino de triplicar o cuadruplicar los recursos actuales. Sin embargo, estoy convencido de que la propuesta presentada no es más costosa de que lo que ya estamos haciendo.

5.4. Sobre leyes y normativas

Se dice que la diferencia entre una dictadura y una democracia yace en que, en una dictadura, lo que no está permitido está prohibido mientras que, en una democracia, lo que no está prohibido está permitido²⁸. Mi opinión es que la transformación educativa requiere más “democracia”. Creo que será una sensación compartida que cualquier cosa que se quiere cambiar requiere demostrar que está dentro de la ley (que está permitido). Desde el cambio en el método de evaluación de una asignatura, hasta el nacimiento de una

nueva asignatura o una nueva especialidad, que requiere la re-verificación del título (que puede durar dos años entre que se empieza a trabajar y es finalmente aceptada). A veces son las leyes las que nos dificultan hacer cosas, pero a veces son las normativas restrictivas (más allá de la ley) de algunos organismos o de nuestras propias universidades las que más nos encorsetan. Desglosaré a continuación mi propuesta de lo que debería cambiar para poder transformar la educación:

- Leyes más flexibles para cambiar el plan de estudios. Puedo entender que empezar una titulación nueva requiera que se empiece con ciertas garantías, especialmente las profesiones habilitantes, y por eso entiendo que exista el sistema de “Verificación”. Pero opino que debería existir una gran libertad a la hora de añadir o eliminar asignaturas, especialidades o subespecialidades.
- Reconocimiento de la Informática como una disciplina transversal, donde se evalúe al profesorado de una manera más justa. El cierre del foco de las agencias de calidad en que seamos expertos en un tema y sólo un tema hace que tu investigación o tu transferencia de tecnología se realice en función de unos parámetros muy limitados. Si lo que hacemos para mejorar nuestra docencia no se puede considerar investigación o innovación en un modelo que sólo se priman estas cosas, pocos profesores se dedicarán a investigar o innovar en su tarea docente (tanto a nivel de asignatura como de especialidad o plan de estudios). Así seguiremos haciendo lo de siempre, porque es lo más cómodo y lo que nos ocupa menos tiempo.
- Definición de qué es un profesor universitario y de qué debe saber. A veces me siento mal con gente que me espeta la idea de que para ser un buen profesional (como Ingeniero Informático) se deben conocer las bases teóricas de la informática, pero esa misma gente ejerce como profesional (de la enseñanza) sin saber las bases de la educación, ni quien era Bruner, ni qué metodologías se usan actualmente, ni cómo aprenden nuestros alumnos. Creo en la necesidad de definir una acreditación como profesor, con flexibilidad, mucha mano izquierda, pero me sigue pareciendo un error que uno pueda ejercer de profesor sin una preparación adecuada. Porque en la educación nos jugamos mucho.
- Permitir una flexibilidad a la hora de realizar la contabilidad del trabajo del profesor. Si sólo contamos horas de clase impartidas, las asignaturas

²⁸ De hecho, es un poco más complejo y es tema de estudio y controversia en derecho la contraposición entre el principio de que lo que no está permitido está prohibido (*quae non sunt permissae, prohibita intelliguntur*) proveniente de la primera época revolucionaria francesa para reducir el poder de los dirigentes, y

del principio de que lo que no está prohibido está permitido (*permissum videtur in omne quod non prohibitum; quae non sunt prohibita permissae intelliguntur*) proveniente del derecho alemán del siglo XIX, para aumentar la autonomía de los Länder.

de proyectos no funcionarán nunca. Hay que valorar el trabajo real y premiar las iniciativas que benefician la comunidad. Si los ECTS se basan en las horas de trabajo del alumnado, el trabajo del profesorado debería contarse en horas de dedicación, no en horas de clase presencial.

- Flexibilizar la matrícula. Uno de los mayores problemas en los grados actuales es que hemos pasado de cursos anuales a semestrales, pero en muchas escuelas se sigue con una matrícula anual y una planificación anual, sin docencia de *todas* las asignaturas *todos* los semestres (o al menos de las asignaturas obligatorias). Y debido a ello aún colean errores como las evaluaciones de recuperación o “septiembre”. Esto no es una cosa de recursos, sino de falta de voluntad política, pues algunos centros (como el mío) han demostrado que se pueden hacer dos matrículas anuales y ofertar las asignaturas todos los semestres con poco coste adicional. Pero en el entorno que propongo deberíamos ir un poco más allá, ser más ambiciosos. Habría que cambiar la ley nacional, y la solución ideal sería pagar una tarifa plana por curso académico. Simplificaría la matrícula, la presión por aprobar/ suspender debido al incremento de coste o poder simplemente seguir el itinerario formativo más acertado. Si las leyes no lo permiten, hay que buscar una solución imaginativa que permita, sin complicar la matriculación en demasía, esa flexibilidad. Este punto está íntimamente ligado con el siguiente.
- Cambiar el concepto de qué significa haber acabado una carrera (y con una especialidad). Si no vamos a considerar el sistema de asignaturas de la manera tradicional, tampoco podemos considerar el final del grado como “aprobar 240 ECTS habiendo superado las asignaturas obligatorias y el TFG”. Considero que debe realizarse un listado de las competencias a adquirir (competencias definidas como la suma de conocimientos, habilidades y actitudes) y considerar qué proyectos, asignaturas y seminarios ofrecen evidencias de la adquisición de esas competencias. También hay que definir qué competencias son necesarias para poder considerarse que se es experto en una especialidad. Así, el título se obtiene en el momento que las evidencias demuestran que se han adquiridos las competencias básicas, y un número determinado de competencias adicional. Y el estudiante tendría como especialidad todas aquellas donde ha adquirido todas las competencias que la especialidad requiere.
- Definir un código ético de la universidad y seguirlo a rajatabla. Si queremos que los estudiantes aprendan la ética de la profesión, la propia univer-

sidad y los años vividos en ella deben ser un ejemplo de comportamiento ético. Por ello habría que definir un código ético al que los estudiantes deberían adherirse cuando realizaran su primera matrícula, comprometiéndose a seguirlo. También significa que si exigimos, por ejemplo, que no plagien trabajos de otros hay que definir qué es plagio, e incluir en la parte de ética de primer curso un aprendizaje de qué es ético como estudiante. Es decir, que no sólo hay que definir (nivel conocimiento de Bloom), sino enseñar los límites entre comportamiento ético y no ético (nivel de comprensión) para exigir (nivel de aplicación) este comportamiento con *tolerancia cero*. En este punto soy muy estricto; si a un estudiante se le ha enseñado a distinguir un comportamiento no ético con toda claridad y aún así actúa de una manera no ética, rompe su compromiso con la universidad y debe ser castigado de inmediato. Por supuesto, también debe haber un código ético para el profesorado y con tolerancia cero.

6. A modo de conclusión

Este documento habla del futuro de los planes de estudios de informática. Hace falta un cambio profundo, una transformación educativa más allá de cambiar contenidos e incluso competencias; cambiarlo todo para que todo siga igual ya no es una opción. El sistema propuesto tiene muchos grados de libertad y no tiene porqué seguirse a rajatabla: más bien es una aproximación a un ideal por medio de un caso de estudio. Pienso que cada centro debería adaptarse según sus características y posibilidades. Por ello pido al lector que no se centre en el ejemplo (apartado 4 de este trabajo), sino en los principios que lo definen (ideas del apartado 3).

En la propuesta, cada estudiante es responsable de su propio plan de estudios (o al menos de una buena parte de él). Se buscan estudiantes independientes, con motivación y creatividad, con un profundo conocimiento de las competencias profesionales, pero también de los conocimientos teóricos de la informática, adquiridos de manera profunda.

En el primer curso del grado se aprenden muchas de las bases de la informática, incluyendo actitudes (organización, ética, pensamiento computacional,...) y habilidades propias del oficio, además de un conocimiento de qué es cada especialidad y cuál es su rol en cada tipo de organización. En la propuesta, en el primer curso el foco está en los proyectos y en la resolución de problemas, no en las bases científicas, y esto es importante porque es en primer curso cuando se forma la identidad del profesional de la informática. No significa eso que deba reducirse la parte formal y científica de la carrera. Al contrario: pienso que aprender matemáticas, física, estadística, ... en un entorno contextualizado, en el momento en que se necesitan,

con motivación y en profundidad, llevará a tener egresados con un conocimiento mucho más profundo y crítico de las ciencias que los actuales.

Aunque estas reflexiones son muy personales, no crecen solas. Agradezco profundamente a todas las personas con las que he tenido la oportunidad de discutir estas ideas en diferentes foros, especialmente a mis cómplices de JENUI con quienes llevo ya dieciséis años discutiendo.

Mi agradecimiento a Joe Miró y Antoni Pérez-Poch, que leyeron la primera versión completa de este artículo y lo deconstruyeron, aunque quizá sería más exacto decir que lo destrozaron. De los pedazos ha salido algo organizado y mucho más coherente que las divagaciones originales. Las locuras que se dicen en el artículo son plenamente mías, pero si se entiende algo es gracias a Antoni y Joe.

Finalmente, agradezco a la comunidad de AENUI el premio otorgado, responsable del discurso de aceptación que ha provocado la escritura de estas líneas. Ha sido una motivación fantástica para poner por escrito algo que hace mucho tiempo que quería escribir.

Referencias

- [1] ANECA. Libro Blanco de la Ingeniería Informática. 2004. Disponible en: http://www.aneca.es/var/media/150388/libro-blanco_jun05_informatica.pdf
- [2] Joseph E. Aoun. Robot-Proof. Higher Education in the Age of Artificial Intelligence. Cambridge, MA (USA). The MIT Press, 2017.
- [3] Sergio Barrachina Mir, Germán Fabrega Lluca. ¿Puedo programar mi móvil? Pero si acabo de llegar. JENUI 2019, pp 39-46. Murcia, julio de 2019. http://www.aenui.net/ojs/index.php?journal=actas_jenui&page=article&op=view&path%5B%5D=486
- [4] Sergio Barrachina Mir, Germán Fabregat Lluca, Juan Carlos Fernández Fernández y Germán León Navarro. ARMSim y QtARM-Sim: simulador de ARM para docencia. JENUI 2015, pp2-9. Andorra la Vella, julio de 2015. https://upcom-mons.upc.edu/bitstream/handle/2117/76421/JENUI2015_12-19.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [5] Jean-Emmanuel Bibault, Philippe Giraud y Anita Burgun. Big data and machine learning in radiation oncology: state of the art and future prospects. *Cancer letters*, 382(2016):110-117. <http://dx.doi.org/10.1016/j.canlet.2016.05.033>
- [6] John Biggs y Catherine Tang. *Teaching for Quality Learning at University*. McGraw Hill, 4a edición. 2011.
- [7] Benjamin S. Bloom. The 2 Sigma Problem: The Search for Methods of Group Instruction as Effective as One-to-One Tutoring. *Educational Researcher*, Vol. 13, No. 6. (Jun. - Jul., 1984), pp. 4-16. Disponible en: <http://web.mit.edu/5.95/www/readings/bloom-two-sigma.pdf>
- [8] Jerome Bruner. *The Culture of Education*. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts. 1996
- [9] Asunción Castaño, Mercedes Marqués, Rosana Satorre Cuerda, Antoni Jaume i Capó, y David López. "Tengo una respuesta para usted sobre estilos de aprendizaje, creencias y cambios en los estudiantes." JENUI 2010, pp. 275-282. Santiago de Compostela. Julio de 2010. Disponible <https://upcom-mons.upc.edu/bitstream/handle/2099/11786/a33.pdf>
- [10] Joan Climent, Jose Cabré, Fermín Sánchez-Carracedo, David López, Carme Martí, Eva Vidal y Ramón Bragós. De la teoría a la práctica: 1011₂ años después de la integración de la sostenibilidad en el Grado en Ingeniería Informática de la FIB. Jenui 2020, Valencia Julio de 2020. Disponible en: http://www.aenui.net/ojs/index.php?journal=actas_jenui&page=article&op=view&path%5B%5D=543&path%5B%5D=739
- [11] Albert Corominas y Vera Sacristán. Grados Universitarios: ¿Cuántos y Cuáles? Análisis de la oferta de estudios de grado en las universidades públicas y privadas españolas. Observatorio del Sistema Universitario. Disponible en: <https://www.observatoriuniversitari.org/es/files/2019/03/Informe-grados.pdf> Enero 2019.
- [12] Peter J. Denning y Matti Tedre. *Computational Thinking*. The MIT Press. 2019.
- [13] Blazenka Divjak, Mirela Ostroski, y Violeta Vidacek Hains. Sustainable student retention and gender issues in mathematics for ICT study. *International journal of mathematical education in science and technology* 41.3 (2010): 293-310. <https://doi.org/10.1080/00207390903398416>
- [14] Gary Lee Downey, *et al.* The globally competent engineer: Working effectively with people who define problems differently. *Journal of Engineering Education* 95(2):107-122. 2006. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2006.tb00883.x>
- [15] Jeffrey E. Froyd, Phillip C. Wankat y Karl A. Smith. Five Major Shifts in 100 years of Engineering Education. *Proc. of the IEEE*, 100 (Special Centennial Issue), 1344-1360. 2012. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2012.2190167>

- [16] Francisco J. Gallego-Durán y Faraón Llorens-Largo. ¡Gamificad, insensatos!, JENUI 2015 pp 240-247. Andorra la Vella, julio de 2015. Disponible en: <https://core.ac.uk/reader/32324613>
- [17] Francisco J. Gallego-Durán, Rosana Satorre-Cuerda, Patricia Company-Rosique y Carlos Villagrà-Arnedo. Explicando el bajo nivel de programación de los estudiantes. JENUI 2017, pp. 23-30. Cáceres, julio de 2017. Disponible en: http://www.aenui.net/ojs/index.php?journal=actas_jenui&page=articulo&op=view&path%5B%5D=378
- [18] Berys Gaut. The philosophy of creativity. *Philosophy Compass*, 2010, vol. 5, no 12, p. 1034-1046. <https://doi.org/10.1111/j.1747-9991.2010.00351.x>
- [19] Michail N. Giannakos, Ilias O. Pappas, Letizia Jaccheri y Demetrios G. Sampson. Understanding student retention in computer science education: The role of environment, gains, barriers and usefulness. *Education and Information Technologies* 22.5 (2017): 2365-2382. <https://doi.org/10.1007/s10639-016-9538-1>
- [20] Ruth Graham. The global state of the art in engineering education. MIT, 2018. Disponible en: http://neet.mit.edu/wp-content/uploads/2018/03/MIT_NEET_GlobalStateEngineeringEducation2018.pdf (Última consulta 28 de enero de 2020)
- [21] David E. Goldberg y Mark Somerville. A whole new engineer: the coming revolution in engineering education. ThreeJoy Associates Inc. 2014. Website: <https://www.wholenewengineer.org>
- [22] Aida Guerra. Integration of sustainability in engineering education: Why is PBL an answer? *International Journal of Sustainability in Higher Education*, Vol. 18, No 3, pp 436-454, 2017. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-02-2016-0022>
- [23] Mark Guzdial. Software-realized scaffolding to facilitate programming for science learning. *Interactive learning environments* 4(1):1-44. 1995 <http://web.eecs.umich.edu/~mjguz/csl/home.cc.gatech.edu/allison/uploads/4/guzdial1995.pdf>
- [24] Mark Guzdial. How Machine Learning Impacts the Undergraduate Computing Curriculum. *Communications of the ACM*, 61(11):27-29. Nov. 2018. <https://doi.org/10.1145/3277567>
- [25] Byung-Chul Han. La Sociedad del cansancio. Herder Editorial 2010.
- [26] Douglas Hofstadter. Gödel, Escher, Bach: an Eternal Golden Braid. Basic Books 1979 (Edición en castellano de Tusquets Editores 2007)
- [27] Douglas Hofstadter y Emmanuel Sander. Surfaces and Essences: Analogy as the Fuel and Fire of Thinking. Basic Books 2013 (Versión en español titulado “La Analogía” de Tusquets Editores 2018).
- [28] Daniel Kahneman. Thinking, Fast and Slow. Penguin Books 2011 (Edición en castellano ‘Pensar rápido, pensar despacio’ de Editorial Debate 2012).
- [29] Naomi Klein. No Logo. Taking Aim at the Brand Bullies. Knopf Canada 1999 (versión castellana de Ediciones Paidós 2000).
- [30] Kerri-Lee Krause y Hamish Coates. Students’ engagement in first-year university. *Assess. & Eval. in Higher Education* 33(5):493-505. 2008. <https://doi.org/10.1080/02602930701698892>
- [31] Faraón Llorens. Transformación digital versus digitalización. Blog de Studia XXI. Fecha de publicación: 13 de enero, 2020. Disponible en: <https://www.universidadsi.es/transformacion-digital-versus-digitalizacion/>
- [32] David López, Alex Ramírez. Marco para el desarrollo de la competencia transversal Comunicación Eficaz. JENUI 2011, pp 213-220. Sevilla, julio de 2011. Disponible en: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/61511/a25.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [33] David López. La experiencia de diseñar una asignatura sin exámenes. JENUI 2013, pp 103-110. Castellón, Julio de 2013. https://upcomons.upc.edu/bitstream/handle/2099/15106/pl3 lop_laex.pdf
- [34] Mercedes Marqués. Qué hay detrás de la clase al revés (*flipped classroom*). JENUI 2016, pp77-84. Almería, julio de 2016. Disponible en: <https://upcomons.upc.edu/bitstream/handle/2117/89886/10%20-%20Qué%20hay%20detrás%20de%20la%20clase%20al%20revés%20%28flipped%20classroom%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [35] David M. Merrill. First principles of instruction. *Educational technology research and development* 50.3 (2002): 43-59. URL permanente: [http://csapoer.pbworks.com/f/First+Principles+of+Instruction+\(Merrill,+2002\).pdf](http://csapoer.pbworks.com/f/First+Principles+of+Instruction+(Merrill,+2002).pdf)
- [36] Rafael Miñano, Gonzalo Génova, Sara Román y Eloi Portillo. Reflexión sobre el papel de las asignaturas relativas a aspectos éticos, sociales, legales y profesionales en los grados de ingenierías informáticas. JENUI 2018, Barcelona julio de 2018. En http://www.aenui.net/ojs/index.php?journal=actas_jenui&page=articulo&op=view&path%5B%5D=448&path%5B%5D=636
- [37] Joe Miró Julià. ¿Tiene sentido la innovación docente? JENUI 2019. Pp 47-53. Murcia, Julio de 2019. http://www.aenui.net/ojs/index.php?journal=actas_jenui&page=articulo&op=view&path%5B%5D=498

- [38] Roger Penrose. *The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds and The Laws of Physics*. Oxford University Press 1989 (Versión en castellano de Editorial Grijalbo 1991)
- [39] Anne-Kathrin Peters. Students' experience of participation in a discipline—a longitudinal study of computer science and IT engineering students. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)* 19, no. 1 (2018): 1-28. <https://doi.org/10.1145/3230011>
- [40] Charles M. Reigeluth. Teoría instruccional y tecnología para el nuevo paradigma de la educación. *RED, Revista de Educación a Distancia*, 32, Septiembre de 2012. URL permanente: https://www.um.es/ead/red/32/reigeluth_es.pdf
- [41] Héctor Ruiz Martín. *¿Cómo aprendemos? Una aproximación científica al aprendizaje y la enseñanza*. Editorial Graó 2020.
- [42] Ken Robinson. *Out of our Minds: Learning to be creative*. Capstone Publishing Limited. 2011.
- [43] Fermín Sánchez-Carracedo y Alejandra Barba Vargas. *Cómo impartir una clase magistral según la neurociencia*. JENUI 2019 pp 87-94. Murcia, julio de 2019. Disponible en: http://www.aenui.net/ojs/index.php?journal=actas_jenui&page=articulo&op=view&path%5B%5D=478&path%5B%5D=677
- [44] Rita Takács, Judit T. Kárász, Szabolcs Takács, Zoltán Horváth y Attila Oláh. Applying the Rasch model to analyze the effectiveness of education reform in order to decrease computer science students' dropout. *Humanities and Social Sciences Communications* 8, 44 (2021). <https://doi.org/10.1057/s41599-021-00725-w>
- [45] Nassim Nicholas Taleb. *The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable*. Random House 2007. (Versión en castellano de Ediciones Paidós 2008).
- [46] Heikki Topi. Information Systems in CC2020: Comparing Key Structural Elements of Curriculum Recommendations in Computing. En 2017 Proceedings of SIGED: IAIM Conf. Association for (AISeL). Disponible en <https://pdfs.semanticscholar.org/c06b/ad9dd7614d3a2b5c56346b4e1174f2182a71.pdf>
- [47] Feng Wang y Michael J. Hannafin. Design-based research and technology-enhanced learning environments. *Educational technology research and development* 53, no. 4 (2005): 5-23. <https://doi.org/10.1007/BF02504682>
- [48] Leslie J. Waguespack y Jeffrey S. Babb. Toward Visualizing Computing Curricula: The Challenge of Competency. *Information Systems Education Journal (ISEDJ)*, 17(4), 51-69. Agosto de 2019. Disponible en: <http://proc.is-cap.info/2018/pdf/4633.pdf>
- [49] Miguel Zapata-Ros. El "problema de 2 sigma" y el aprendizaje ayudado por la tecnología. (2013) <http://eprints.rclis.org/18866/8/MOOCs.pdf>
- [50] Miguel Zapata-Ros. Capítulo 5. La evaluación en la educación de la pandemia y después de la pandemia. Febrero de 2021. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21911.29605>