

# ¿ADIÓS AL HARDWARE?

Jordi Berenguer Sau  
([berenguer@tsc.upc.es](mailto:berenguer@tsc.upc.es))

Escola Universitària Politècnica del Baix Llobregat,  
Universitat Politècnica de Catalunya  
C/ Generalitat, s/n. 08960 Sant Just Desvern, España  
Tel.: +34 934 015915, Fax +34 934 015910

## RESUMEN

¿Tendremos que decir adiós a las actividades de hardware en las enseñanzas técnicas?  
¿Fracasaremos en la motivación de los estudiantes, y quizás también en la de algunos profesores, de ingeniería?. ¿En qué medida pueden y/o deben suplirse este tipo de actividades por simulaciones por ordenador y laboratorios virtuales?.

Éstas y otras preguntas empiezan a plantearse a raíz del fuerte arraigo, imparable por cierto, que está experimentando en nuestra sociedad el ordenador, el software y la red. Una virtualidad quizás mal entendida, frente a una experimentalidad temida por desconocida.

En esta comunicación se intentará responder a estas preguntas desde el ámbito de la ingeniería de telecomunicación, tratando de propiciar el debate acerca de cuál debe ser el futuro de la enseñanza del hardware en las escuelas de primer y segundo ciclo de esta especialidad, frente al creciente desinterés que este tipo de actividad despierta en los estudiantes de ingeniería, quienes se sienten mayoritariamente atraídos por el ordenador, los productos de software e Internet.

Se pretende también provocar la reflexión acerca de cuál debe ser el uso correcto del ordenador y en especial el de las herramientas virtuales y de simulación asociadas, bien como sucedáneo, bien como aditivo, de las actividades hardware en el marco de la enseñanza de la ingeniería en general, y en particular en la ingeniería de telecomunicación. En suma, se trata de valorar si las actividades experimentales de hardware pueden llegar a sustituirse en su totalidad o parcialmente, por actividades virtuales mediante ordenador sin menoscabo de que los titulados así formados vean mermadas sus capacidades de desarrollo profesional en un mercado de trabajo cada vez más global y competitivo.

Finalmente, una vez analizado y revisado dicho contexto se establecerán los objetivos docentes que debe alcanzar una enseñanza experimental, para terminar proponiendo algunas estrategias docentes que permitan corregir esta situación.

---

## I. TITULO

*¿Adiós al hardware?*

---

## II. TEMA

*Tipología de los estudiantes de principio del siglo XXI. Comunicación.*

---

## III. AUTOR

**Jordi Berenguer Sau**

([berenguer@tsc.upc.es](mailto:berenguer@tsc.upc.es))

Escola Universitària Politècnica del Baix Llobregat,  
Universitat Politècnica de Catalunya  
C/ Generalitat, s/n. 08960 Sant Just Desvern, España  
Tel.: +34 934 015915, Fax +34 934 015910

---

## IV. RESUMEN

¿Tendremos que decir adiós a las actividades de hardware en las enseñanzas técnicas? ¿Fracasaremos en la motivación de los estudiantes, y quizás también en la de algunos profesores, de ingeniería?. ¿En qué medida pueden y/o deben suplirse este tipo de actividades por simulaciones por ordenador y laboratorios virtuales?. Éstas y otras preguntas empiezan a plantearse a raíz del fuerte arraigo, imparabile por cierto, que está experimentando en nuestra sociedad el ordenador, el software y la red. Una virtualidad quizás mal entendida, frente a una experimentalidad temida por desconocida. En esta comunicación se intentará responder a estas preguntas desde el ámbito de la ingeniería de telecomunicación, analizando las causas que las propician para finalmente proponer algunas estrategias docentes que permitan corregir esta situación.

---

## V. PALABRAS CLAVE

*Experimentalidad, motivación, telecomunicación*

---

## VI. OBJETIVOS

El objetivo de esta comunicación es debatir cuál debe ser el futuro de la enseñanza del hardware en las escuelas de primer y segundo ciclo de ingeniería de telecomunicación, frente al creciente desinterés que este tipo de actividad despierta en los estudiantes de ingeniería, quienes se sienten mayoritariamente atraídos por el ordenador, los productos de software e Internet. Se trata, también, de provocar la reflexión acerca de cuál debe ser el uso correcto del ordenador y de las herramientas virtuales y de simulación asociadas en el marco de la enseñanza experimental de la ingeniería en general, y en particular en la ingeniería técnica de telecomunicación. En suma, se trata de valorar si las actividades experimentales de hardware pueden llegar a sustituirse en su totalidad o parcialmente, por actividades virtuales mediante ordenador, sin menoscabo de que los titulados así formados vean mermadas sus capacidades de desarrollo profesional en un mercado de trabajo cada vez más global. Finalmente se establecerán los objetivos docentes que debe alcanzar una enseñanza experimental.

## VII. INTRODUCCIÓN

---

Con toda probabilidad el siglo XXI consolidará el progresivo desplazamiento que ha experimentado el centro de gravedad de las tecnologías de la información, desde el medio de transmisión y sus equipos terminales de acceso, hacia la forma de adquirir, tratar, procesar y presentar la información.

La eclosión de la sociedad de la información nos acerca aún más a un entorno en el que el medio de transmisión y los equipos terminales son ya una anécdota frente a las infinitas posibilidades que nos ofrece el procesado de la información en sí mismo. Los sistemas de valor añadido se han convertido en una fuente inagotable de riqueza para profesionales y empresarios. Se trata de un cambio evolutivo desde el “hardware” hacia el “software”. De hecho, el hardware despierta cada vez menos “vocaciones” entre los estudiantes de ingeniería de telecomunicación e incluso sobre algunos ingenieros con algunos años de experiencia, frente a las pasiones que suscita la ventana abierta al universo, virtual, que nos ofrece el ordenador.

Incluso en el terreno industrial este cambio se ha materializado: los avances de la microelectrónica han desplazado la actividad de un sector electrónico dedicado al diseño de equipos y sistemas a partir de componentes electrónicos simples, hacia un nuevo tipo de actividad encaminada a la integración de bloques funcionales y sistemas. Si hace algunos años el diseño de un cabezal de radiofrecuencia o microondas era una parte crucial de un sistema de comunicaciones al que se habían de dedicar numerosos esfuerzos, hoy en día ya no es así, basta con adquirir estos mismos cabezales a diversos fabricantes para obtener unos equipos pequeños, fiables y de excelentes prestaciones y también económicos.

Con el nuevo milenio se producirá una progresiva disociación entre las actividades hardware, que quedaran relegadas a las grandes empresas de infraestructuras de comunicaciones, con cadenas de montaje en el sudeste asiático y en países en vías de desarrollo, mientras que las actividades de software, la integración de sistemas y los servicios de valor añadido serán el principal núcleo de actividad y de negocio de los profesionales y de las pequeñas y medianas empresas del sector en los países industrializados.

La realidad industrial de nuestro país, junto al creciente número de ingenieros de telecomunicación que egresan de las múltiples escuelas y la fuerte implantación de las tecnologías de la información, como tecnología horizontal presente en todos los sectores de la economía, facilitarán aún más esta disociación.

## VIII. DESARROLLO DEL TEMA

---

### **Pero, ¿es necesario el hardware?**

Basta con observar a nuestro alrededor para ver que el futuro profesional de nuestros jóvenes titulados se encamina mayoritariamente hacia el sector de servicios y muy especialmente hacia los servicios de valor añadido. La actividad de diseño de hardware queda reservada para las grandes compañías de infraestructuras de comunicaciones, en las que la tecnología propia va desapareciendo a favor de la integración de sistemas y

equipos diseñados y fabricados por terceros, o bien para aquellas pequeñas empresas, que aún pueden mantener un cierto grado de competitividad en unas áreas muy concretas y delimitadas del sector.

Esta circunstancia no es mejor ni peor, sino distinta a la de hace una década. Los esfuerzos que requiere la puesta en marcha de servicios de valor añadido son en su mayor parte de tipo intelectual y no necesitan una gran infraestructura; precisan eso sí, de profesionales imaginativos, con una sólida formación técnica, gran capacidad de establecer puentes mentales entre diversas tecnologías y como no, con elevadas dosis de creatividad que les permita, conociendo las posibilidades que ofrecen las infraestructuras de comunicación y las necesidades que deben satisfacer los diversos sectores económicos, proponer y desarrollar actividades y sistemas novedosos y de interés, que hagan uso de las redes de comunicaciones ya existentes. Probablemente a esta vía deberán acogerse los futuros titulados para combatir el desempleo.

Si como parece, el hardware acabará siendo un reducto minúsculo en el sector productivo, cabe entonces plantearse la pregunta de si es necesario seguir formando a nuestros ingenieros en el dominio del hardware, o si por el contrario debemos reemplazarlo por una formación “virtualmente experimental”, o a lo sumo que haga uso de una instrumentación remota y basada casi completamente en la utilización del ordenador, más un conjunto de programas de simulación y de realidad virtual y por supuesto La Red.

Sin embargo, aún en los más recientes planes de estudio se siguen haciendo notables esfuerzos para dotar con gran experimentalidad a los estudios de ingeniería de telecomunicación, mediante la introducción de créditos de laboratorio e incluso de asignaturas específicas de laboratorio. Aunque si examinamos de cerca esta “experimentalidad” observaremos que mayoritariamente se acaba basando en la utilización de Matlab, Simulink, LabView, Pspice y otras herramientas de simulación software, brillando por su ausencia la experimentación real, con instrumentos y medios reales.

Aún sabiendo que son pocos los estudiantes, y no muchos los profesores, que se sienten atraídos y motivados por el hardware, este esfuerzo por incluir una experimentalidad, que acaba no siéndolo en sentido estricto, persiste. ¿A qué se debe esta situación?. En parte al prestigio que aún suscita la palabra laboratorio, y en parte a la facilidad y al aparente bajo coste que supone disponer de herramientas software de simulación con las que equipar estos “laboratorios”. Quizás sólo se trate de una batalla, o de una guerra, en cualquier caso perdidas de antemano frente al dominio del software.

### **¿Por qué socialmente el hardware no levanta pasiones?**

No se trata de que el hardware sea más duro que el software, la diferencia estriba en el tiempo necesario para alcanzar los objetivos propuestos. El tiempo empleado para tener un circuito electrónico funcionando, o el necesario para el desarrollo de un programa simple o para el manejo de una aplicación informática, es mucho mayor en el primer caso que en los otros. Es esta falta de inmediatez del hardware frente al software lo que lo hace desalentador.

Para conseguir que un determinado diseño electrónico funcione es necesario cubrir demasiadas etapas con numerosas variables, a veces incontroladas, que van desde el montaje de una tupida red (no informática) de cablecillos en un protoboard, hasta un circuito impreso con algunas pistas cortadas, algún componente que no termina de encajar y algunos integrados incinerados por el camino; camino que será menos tortuoso en función de la experiencia del operador. Sin embargo con el software estos obstáculos colaterales no existen; la dificultad en el desarrollo de un programa o en la utilización de un determinado paquete informático depende casi en exclusiva de los conocimientos informáticos del usuario; el camino (autopista quizás) es ahora muy corto, rápido y seguro, no hay semáforos; a igualdad de esfuerzo intelectual que en el diseño hardware, la consecución del resultado final es casi inmediato, en el peor de los casos basta con salir y volver a entrar para que todo funcione. Y si no, se lo podemos preguntar a cualquier estudiante.

### **En un tiempo no muy lejano...**

Hasta no hace mucho, era habitual entre los estudiantes de ingeniería de telecomunicación que la electrónica formase parte de sus hobbies, hasta el punto de que incluso las actividades de laboratorio que realizaban a lo largo de la carrera les supiesen a poco, ávidos de satisfacer su curiosidad y ganas de construir algo útil, sofisticado y que funcionase. Pero claro, eso acontecía cuando casi nadie sabía lo que era la telecomunicación. Hoy eso es ya historia. El ordenador e Internet ha tomado el relevo a muchas de estas actividades.

No creo equivocarme si afirmo que éste es hoy el hobby mayoritario de nuestra sociedad, y en general de la gente joven, ya que con un solo terminal, ahora fijo y dentro de nada móvil, podemos aunar ocio, aprendizaje, comunicación virtual, herramientas de cálculo, telecontrol, telemedicina, burocracia y sexo. Y todo con un denominador común: la inmediatez.

Ante esta oferta de actividades, en las que el “user friendly” se impone a fin de que el tiempo necesario para la consecución de los objetivos tienda a cero, el modelismo, el bricolaje la electrónica recreativa y otros etcéteras quedan para el recuerdo.

Quizás se trate de la sociedad de la información y/o del conocimiento, aunque me resisto a creerlo; se trata más bien de la sociedad de la inmediatez y de la simulación, y por qué no, de la comodidad.

### **Y en la universidad ¿qué?**

Si nos ceñimos al ámbito universitario, y al de la docencia de la ingeniería técnica de telecomunicación, como es mi caso, esta situación es grave y preocupante.

Grave, ya que en el ámbito docente, poder disponer de unos laboratorios bien equipados es inicialmente extremadamente caro y además poco rentable, ya que su uso acaba limitándose únicamente a las horas de docencia reglada de la correspondiente asignatura

del plan de estudios. En mi centro llevo tiempo observando que en los períodos de acceso libre a los laboratorios siempre se produce “overbooking” en los laboratorios de informática, mientras que los laboratorios de hardware se encuentran prácticamente vacíos.

El coste por puesto de trabajo, sin considerar el software, de un PC más su correspondiente conexión a red suele ser de unas 300.000 pts, mientras que el coste de un puesto electrónico de baja frecuencia se sitúa en las 600.000 pts, superando el 1.600.000 de pts si se trata de instrumentación de radiofrecuencia. Incluso en términos económicos “inmediatos” el hardware es caro; en cambio a largo plazo ya empieza a serlo menos, ya que el tiempo de amortización de un buen equipamiento electrónico puede ser de unos 10 años, mientras que el de un PC es de tan solo 2 años si queremos estar a “la page” o de unos 3 si nos conformamos con menos; a ello hay que añadir el coste de las licencias de los diversos paquetes informáticos, el de sus correspondientes “up-grades” cada 1 o 2 años, el de los servidores, el de mantenimiento de los equipos de red y el de uso de la propia red y sus conexiones a Internet, el de las licencias de campus, que compra cuando puede la universidad, etc. A modo de ejemplo puedo decir que en mi centro, una vez se terminó el equipamiento de todos los laboratorios soft y hard, en los 7 años posteriores el total de la inversión realizada en equipamiento fue de unos 35 millones de pts, de los cuales unos 30 se destinaron a la renovación del parque informático (!).

Y preocupante, no sólo por el poco interés que despierta el hardware en los estudiantes, si no también entre algunos profesores, especialmente lo más jóvenes, quienes en su etapa de formación ya experimentaron las mieles de la virtualidad limpia y aséptica. Es más, desde el punto de vista de promoción personal en la carrera académica, la velocidad de producción de trabajos de investigación listos para su publicación es mucho mayor si estos no incluyen ningún tipo de diseño hardware, que en caso contrario. Incluso desde el punto de vista docente, la preparación de una asignatura de laboratorio de hardware lleva mucho más tiempo que el de una asignatura teórica, tiempo que se resta del que un profesor universitario debería dedicar a la investigación y por tanto repercute en esa velocidad de producción de que hablábamos. Cómo no va a estar desmotivado un profesor para enseñar hardware, si además de no reconocérselo se le penaliza por ello (!).

Pero además hay un factor clave: la puesta en marcha de un laboratorio hardware precisa de personal cualificado y con experiencia (tiempo=experiencia), mientras que para poner en marcha un laboratorio de simulación basta con que sea cualificado.

### **Una virtualidad poco virtuosa**

Según el diccionario, *virtual* es todo aquello que no es sino en potencia, o todo aquello aparente en contraste con lo real o absoluto. Y *experiencia* es la práctica de una cosa o la participación en una cosa, que permite adquirir su conocimiento.

Una formación técnica en la que la formación experimental se vea desplazada por la utilización de herramientas de simulación por ordenador o de laboratorios virtuales, puede conducir a una formación de profesionales de la ingeniería sesgada y estratificada,

donde en la cúspide se situarían unos pocos, los buenos conocedores de la tecnología real, capaces de tomar decisiones estratégicas, por debajo de los cuales se encontraría la gran mayoría de profesionales, o más bien usuarios cualificados de la tecnología, es decir, aquellos que saben utilizarla aunque sólo sea a través de la interfície de un ordenador, pero que ignoran sus limitaciones e interioridades, ya que simplemente las desconocen y, desde luego, no se atreven a manipularla.

Esta idea me ha venido sugerida a raíz de la lectura de una larga entrevista a Umberto Eco sobre las implicaciones sociales de las nuevas tecnologías de la información [1], con la que en 1996 iniciaba su andadura la revista *Ericsson Connexion*. Ante la pregunta sobre su opinión acerca de que surja una nueva división de clases, a partir de la gente que accede a la tecnología y la información, Eco contestaba:

*“Mi idea es similar a un futuro 1984 con tres clases de personas. En la parte inferior se encuentra una nueva clase de proletariado, la gente que no sabe utilizar un ordenador y que solo recibe información por medio de la televisión. Por tanto se encuentran apartados del poder. Luego viene una pequeña burguesía, gente que sabe utilizar un ordenador pero no sabe programarlo, como la gente que está en los mostradores de facturación de una línea aérea. Y finalmente hay una especie de nomenklatura, en el sentido soviético, compuesto por gente que sabe interactuar con el ordenador. Por tanto tenemos una clase proletaria liderada por estúpidos showmen de la red, una clase media dirigida por Bill Gates y una clase superior liderada por Marvin Minsky. Actualmente son los académicos e intelectuales quienes más acceden a Internet y por ello, el poder gravitará de modo natural a su alrededor.”*

Llevado al límite, podría darse el caso de que la formación técnica que ofreciésemos terminara basándose en estas tres premisas:

- Sobrevaloración de lo virtual frente a lo real.
- Confusión entre lo virtual y lo real.
- El ordenador y sus derivados: medio y fin del proceso educativo.

Seguramente un diagnóstico como éste no resiste la siguiente crítica: “*Es incorrecto, el ordenador y la red son ya nuestra realidad de hoy*”. Es cierto. El punto de partida fue en 1994 cuando la Unión Europea presentó en Corfú el informe Bangemann [2] que asentaba los tres principios de la sociedad de la información: una red básica, unos servicios genéricos, y unas aplicaciones. Con él se pretendía impulsar una nueva mentalidad emprendedora, que conllevara el cambio de la manera de trabajar y de vivir de las personas, aunque se alertaba del riesgo que suponía la posibilidad de llegar a una sociedad dividida, entre los que conocen y dominan las nuevas tecnologías y aquellos que son incapaces de dominarlas y apenas usarlas; también se decía muy claramente que la educación era el único mecanismo que lo podía evitar.

En el mismo informe se proponían 10 experiencias a modo de demostradores de esta nueva sociedad de la información: la teleenseñanza era una de ellas. Se trataba de facilitar mediante la red, el acceso universal a la educación rompiendo las barreras de la distancia y del tiempo. La teleenseñanza junto al teletrabajo deberían convertirse así en los grandes impulsores de la cohesión social y del territorio, suprimiendo la

discriminación que sufrían debido a la distancia, las zonas más alejadas de las grandes ciudades.

Es evidente que la teleeducación ha sido y es un éxito, ya que permite establecer un vínculo intemporal entre el profesor y el estudiante. Ahora bien, ¿puede existir una “teleexperimentalidad”? En primer lugar hay que distinguir entre lo que es simulación (laboratorios virtuales) de lo que es telecontrol (laboratorios remotos). En el primer caso se trata de simular por ordenador el comportamiento de un determinado equipo o sistema real, pero el usuario nunca interacciona con él; es más, en este caso no es necesario la red. El segundo caso es radicalmente distinto, se trata de actuar a distancia sobre un determinado sistema o equipo, real y concreto; ahora el usuario debe interaccionar con él para manipularlo y por ejemplo obtener medidas; en este caso sí que se trata de teleexperimentalidad. Sin embargo, no creo que la totalidad de la formación experimental que reciba un ingeniero pueda reducirse a este último tipo, si no podríamos correr el riesgo de que sólo sepa manipular un destornillador a través del mouse.

Una formación experimental basada en el aprendizaje de técnicas simples realizadas en un laboratorio real, puede complementarse con experimentos en laboratorios remotos obteniéndose un resultado altamente positivo, ya que sobre una base sólidamente asentada se hace un correcto uso de las nuevas tecnologías y de la red.

Pero volviendo a la sociedad de la información, hoy día podemos garantizar que disponemos de sus tres principios básicos, pero ¿podemos garantizar la no-división de la sociedad, o de sus técnicos especialistas?

### **¿Qué formación técnica debemos garantizar?**

No quisiera que se me viese como un enemigo acérrimo del ordenador; nada más lejos de la realidad. Pienso que el ordenador, cuando se sitúa en el lugar que le corresponde, como una herramienta más del proceso de aprendizaje, es excelente. Lo que me resisto a creer es que sea algo más que un medio.

El inicio de mi actividad profesional como ingeniero de radiofrecuencia, coincidió con la aparición del ordenador personal; fue de gran utilidad, especialmente el manejo de los programas de CAD que agilizaban enormemente el proceso de diseño de cualquier sistema electrónico, aún a pesar de la contrariedad que suponía, más veces de las deseadas, la falta de coincidencia entre el resultado de la simulación y la medida en el laboratorio. Con el paso de los años, esta contrariedad aún existe, aunque ahora es el estudiante quién cree que es el instrumento el que mide mal, ya que no obtiene lo que dice el ordenador!.

No se trata de la calidad del programa de simulación, si no más bien de una soldadura fría, una metalización de un condensador que se ha roto, un cortocircuito casual, un circuito integrado montado al revés, una fuente de alimentación mal conectada, un .... Un cúmulo de contrariedades y en el fondo la *incapacidad de poder simular la contrariedad*.



¿Quién no se siente fascinado ante la limpieza conceptual que ofrecen los programas de simulación, como por ejemplo el Simulink o el LabView?. Con qué facilidad conectamos un generador a un amplificador, que modelamos como queremos, y éste a un analizador de espectros, donde inmediatamente visualizamos su respuesta. Limpio y aséptico, en clara contraposición a la maraña de cables, conectores, fuentes de alimentación y un largo etcétera de contratiempos hasta conseguir obtener la medida.

Sólo la experiencia hace obviar estas contrariedades. Pero que es la experiencia sino un cúmulo de contrariedades ya superadas, con o sin demasiado acierto. Y acaso, ¿no son altamente formativas las contrariedades?, aún a costa de que consumen demasiado tiempo.

En mi opinión debemos garantizar que la contrariedad, y por supuesto su superación, forme parte del proceso de formación de un ingeniero.

Esta formación debe ir un paso avanzada a la demanda social de profesionales; no tiene sentido dar una formación teórico-experimental que el mercado no precisa ni va a precisar, y menos en carreras de ciclo corto. Una buena formación universitaria debe garantizar un correcto afianzamiento de las bases intemporales de la tecnología, y muy especialmente, dotar de metodología y capacidad de autoaprendizaje y de adaptación a los nuevos cambios tecnológicos de los profesionales formados. Como recordaba Fernando Savater [3], el balmesiano aforismo de *lo importante es enseñar a aprender* sigue aún vigente. En definitiva, pienso que la culminación de un proceso educativo se produce cuando el aprendiz puede prescindir del maestro.

El objetivo de una formación experimental debe ser el de transferir al estudiante una capacidad de actuación ante una problemática. Esto engloba desde plantear un determinado esquema de medida, o establecer un procedimiento de análisis y diagnóstico, o saber identificar el problema y, por qué no, al especialista que lo pueda solucionar. En definitiva como decía George Brown [4] en el capítulo dedicado a la enseñanza efectiva de laboratorio, una buena formación experimental debe garantizar lo siguiente:

- Enseñar habilidades manuales y de observación.
- Mejorar la comprensión de los métodos de interrogación científica.
- Desarrollar habilidades de resolución de problemas.
- Proveer de actitudes profesionales.

Asentados estos principios fundamentales, la elección del “con qué” dependerá en cada caso de las necesidades de la sociedad y del mercado. El periódico *Cinco Días* [5] publicaba recientemente un artículo titulado “Las grandes empresas tecnológicas temen un déficit masivo de profesionales en Europa”, y en un recuadro titulado “Primer perfil profesional” se decía “*Para telecomunicaciones se necesitan ingenieros de radiofrecuencia, especialistas de diseño digital, ingenieros de comunicación de datos, creadores de aplicaciones para procesadores de señal digital y diseñadores de redes.*” Éste puede ser el ejemplo, o la anécdota, del “con qué” en el proceso de formación experimental.

## ¿Cómo se debe enseñar para que el hardware sea motivador?

Si a pesar de todo lo expuesto persistimos en querer dar una formación experimental, asumidos los objetivos anteriores y decidido el “con qué”, queda pendiente aún el responder a la gran pregunta: ¿Cómo motivar al estudiante en este contexto?.

La respuesta podría ser larga y compleja: podríamos hablar de cuadernos de laboratorio, memorias, exámenes, diseños, prácticas guiadas y no guiadas, etc. Si nos ciñésemos a estos aspectos estaríamos hablando exclusivamente de mecanismos de evaluación, que es la última arma-amenaza que le queda al docente, cuando todas las demás han fracasado, para motivar-obligar al estudiante.

Creo que la respuesta es mucho más sencilla: *Los estudiantes deben percibir la actividad experimental como relevante y con significado.*

Muy simple, pero en el caso del hardware muy difícil aunque no imposible, el éxito dependerá del oficio del educador y de su capacidad de proponer experiencias de laboratorio externamente golosas, pero capaces de afianzar el aprendizaje.

## IX. CONCLUSIONES

---

Se ha planteado la problemática existente alrededor de la enseñanza del hardware en la ingeniería y, en especial, en la ingeniería técnica de telecomunicación, examinando las causas sociales y académicas que propician una falta de motivación de los estudiantes y en algunos casos, también de los profesores.

Asimismo se han planteado los riesgos que pueden derivar de un uso inapropiado del ordenador y las herramientas software cuando pretenden suplir experimentalidad por virtualidad.

Finalmente se han expuesto los objetivos básicos que debe cumplir cualquier enseñanza experimental, que en resumen consisten en que el estudiante perciba como relevante y con significado la actividad experimental que realiza.

Si de verdad queremos dar una formación experimental eficaz y de calidad, desde un principio deberemos tomar consciencia de toda su problemática y decidir si ésta se asume; emprendiendo, en este caso, las acciones necesarias para corregir las desviaciones que puedan alejarnos de nuestro objetivo, y situar al ordenador, la simulación y la virtualidad en el justo lugar que le corresponde dentro del proceso de aprendizaje.

Si no, saquemos un pañuelo y digamos adiós al hardware.

## X. BIBLIOGRAFÍA

---

- [1] “Ericsson Connexion”, nº 1, Abril 1996. “*Point of View: Entrevista a Umberto Eco*”, por Kevin Billinghamurst y Paul Claesson. Pag. 38-43.
- [2] Martin Bangemann et alt., “*Europe and the global information society. Recommendations to the European Council*”, Corfu, 24-25 June 1994.

- [3] Fernando Savater. *“El valor de educar”*. Editorial Ariel, 1997.
- [4] George Brown and Madeleine Atkins. *“Effective Teaching in Higher Education”*. Routledge, 1997.
- [5] Paz Álvarez, *“Las grandes empresas tecnológicas temen un déficit masivo de profesionales en Europa”*, en Cinco Días, 12 de Enero de 2000, pag. 28.