

# **LA ENSEÑANZA DE LA METEOROLOGÍA: UN CAMINO PARA REVISAR CONCEPTOS FÍSICOS OLVIDADOS**

*M.Carmen Casas, Ángel Redaño*

***Depto. de Física i Enginyeria Nuclear, EUPVG, UPC***

***Depto. de Astronomia i Meteorologia, Facultat de Física, UB***

*m.carmen.casas@upc.es*

## **1. RESUMEN**

En los últimos años, se ha observado un aumento en la proporción de estudiantes de carreras científico-técnicas que presentan carencias en conceptos básicos de la Física, en muchas ocasiones por no estar dicha materia incluida en los temarios de los nuevos planes de estudio, o estarlo de forma limitada y parcial. La inclusión en los planes de estudio de algunas universidades de asignaturas de libre elección como la Meteorología puede contribuir a introducir o *refrescar* estos conceptos físicos básicos. La asignatura de libre elección 'Meteorología y clima' viene impartándose en la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) desde el año 1995, y a ella acceden estudiantes de Ingeniería e Informática de diferentes especialidades. En la Universidad de Barcelona (UB) se imparte una asignatura de libre elección similar: 'Meteorología general', que puede ser cursada por alumnos de distintas facultades de ciencias y letras de esta universidad. La experiencia con los estudiantes que acceden a estas asignaturas ha dejado patente la oportunidad que representa la enseñanza de la Meteorología para introducir ideas básicas y leyes fundamentales de la Física, contribuyendo a paliar alguna de estas carencias y a mejorar la formación general que reciben los alumnos de estas titulaciones. En este trabajo se propone una programación para una asignatura de estas características y se exponen los conceptos físicos más importantes que intervienen en el desarrollo de la misma, además, se presentan los resultados de la evaluación de los conocimientos adquiridos por algunos alumnos que han cursado una de estas enseñanzas.

## **2. PROGRAMACIÓN DE LA ASIGNATURA**

La implantación de los nuevos planes de estudio ha representado, en general, una disminución de la carga docente del alumno, que en muchos casos se ha traducido en una reducción notable de los temas que constituyen los programas docentes de las asignaturas tradicionales. En la mayoría de estudiantes que cursan carreras técnicas y científicas se manifiesta ciertas carencias en conceptos básicos de la Física, bien porque accedieron a la carrera sin haberlos visto nunca, bien porque lo hicieron de forma somera y los han olvidado al no estar incluidos en los temarios de esos nuevos planes. Por ejemplo, la Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones de la Escuela Universitaria Politécnica de Vilanova i la Geltrú (EUPVG) de la UPC no incluye en su plan de estudios partes de la Física tan básicas como la Mecánica o la Termodinámica. En el caso de algunas carreras científicas, los temarios de las

asignaturas de Física se han visto también recortados drásticamente en los nuevos planes de estudio.

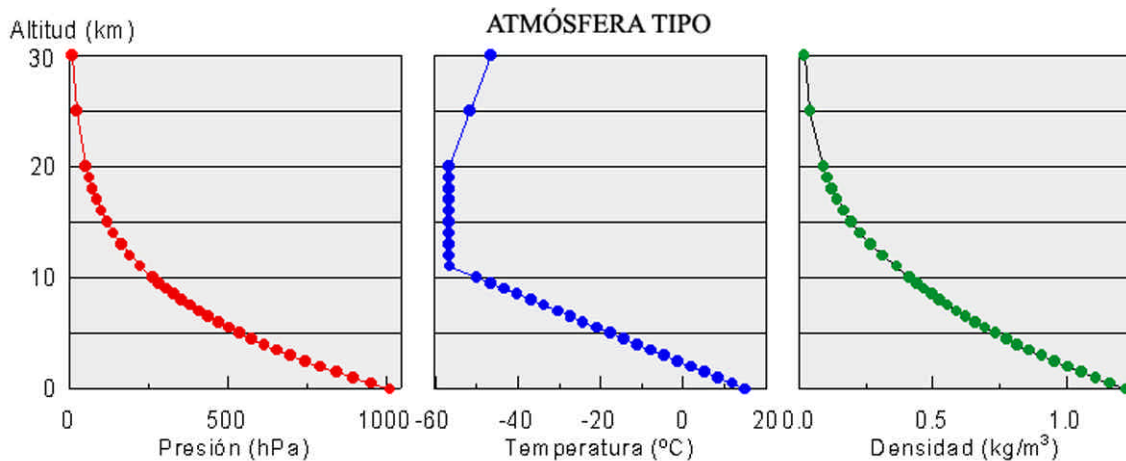
La Meteorología es una disciplina llamativa para los estudiantes, que suelen estar interesados en temas medioambientales y ecológicos y en otras cuestiones tan en boga en la actualidad como pueden ser, por ejemplo, las consecuencias del cambio climático en la vida del planeta. Impartida en los últimos cursos como asignatura de libre elección, puede ser una herramienta muy útil para completar la formación del estudiante, introduciendo o recordando conceptos físicos tan básicos como el Principio de Arquímedes, los sistemas de referencia no inerciales y la fuerza de Coriolis, los sistemas en equilibrio dinámico, el gradiente, la convección, la diferente capacidad calorífica de los materiales, los cambios de fase de las sustancias, la saturación, la presión parcial en una mezcla de gases o la conducción y capacidad eléctrica [1].

La experiencia adquirida durante los años en que los autores han impartido la asignatura de Meteorología como materia de libre elección les hace proponer los siguientes temas como programación de las clases teóricas de una asignatura de estas características:

1. Estructura y composición de la atmósfera
2. Balance de energía del sistema Tierra-atmósfera
3. Temperatura y humedad
4. Movimiento vertical del aire: estabilidad y formación de nubes
5. Movimiento horizontal del aire: la presión y el viento
6. Borrascas y anticiclones: masas de aire y frentes
7. Circulación general de la atmósfera
8. Circulaciones de mesoescala
9. La predicción del tiempo
10. El cambio climático

En la exposición y desarrollo de la mayoría de estos temas se hace continua referencia a conceptos físicos básicos, especialmente de la Termodinámica y de la Dinámica. Es, por tanto, un buen pretexto para afianzar los conocimientos físicos adquiridos en otros cursos y asignaturas y para aplicar de una manera práctica algunas leyes y ecuaciones establecidas y deducidas desde un punto de vista, a veces, mucho más teórico.

Así por ejemplo, al abordar el primer tema, que trata a modo de introducción de la composición de la atmósfera y de la variación horizontal, vertical y temporal de las variables meteorológicas que caracterizan el estado termodinámico del aire, pueden aplicarse conceptos básicos de la estática de fluidos, como el de la presión hidrostática de un gas al justificar la variación con la altura de la presión atmosférica. Es también lugar indicado para poner de manifiesto la utilidad de la ecuación de estado de un gas perfecto para explicar el comportamiento de la mezcla de gases que forman la atmósfera, proponiendo la aplicación de la misma a los valores de presión, temperatura y densidad de la atmósfera tipo o estándar a diferentes alturas en la troposfera y estratosfera.

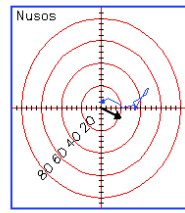
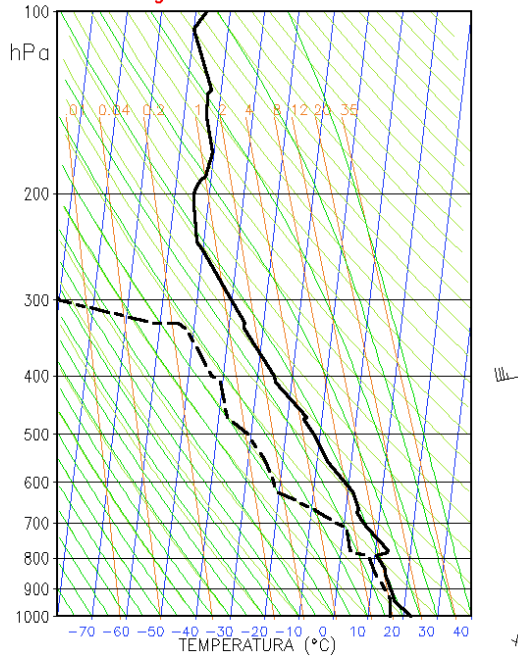


En este capítulo puede también recordarse la conveniencia de la utilización del sistema internacional de unidades [2], al hilo del comentario de las diferentes unidades empleadas tradicionalmente en meteorología para expresar, por ejemplo, el valor de la presión atmosférica (mmHg, mbar, hPa) o el viento (km/h, m/s, kt).

En el segundo capítulo se plantea el equilibrio radiativo en el sistema Tierra-atmósfera utilizando la ley de Stefan-Boltzmann que permite al alumno, por ejemplo, estimar la constante solar, esto es, la energía procedente del sol que incide en la cima de la atmósfera conociendo la temperatura radiante de sol.

El tema tercero se dedica básicamente a la explicación de las diferentes maneras que en meteorología se mide el contenido de vapor de agua en la atmósfera, y en el que debe plantearse el concepto de presión vapor saturante en equilibrio con el líquido y la existencia para cada líquido (el agua en nuestro caso) de la curva que expresa esas presiones en función de la temperatura. La introducción de estos conceptos nos permite plantear uno de los problemas más importantes e interesantes de la Termodinámica de la atmósfera, que es el concepto de la estabilidad de estratificación, esto es, la disposición que tiene la atmósfera, en un instante dado, a favorecer o impedir los movimientos verticales de burbujas o parcelas de aire que han sido separadas de su nivel original por causas térmicas, mecánicas o turbulentas. La discusión y planteamiento de estos temas puede hacerse de manera relativamente sencilla a partir de la existencia del empuje arquimedeano entre fluidos a diferentes temperaturas. Una vez justificado el inicio del movimiento vertical como respuesta a una diferencia inicial entre la temperatura de una determinada parcela de aire y la del ambiente que le rodea, la evolución posterior de la partícula dependerá de la diferencia entre su estado termodinámico, determinado por el proceso que sigue la partícula y que puede considerarse adiabático en primera aproximación, y el del ambiente que se determina mediante los radiosondeos y cuya representación gráfica constituye lo que se conoce como curva de estado de la atmósfera.

### Radiosondatge BARCELONA 020705 12 UTC



K(°C)= 28  
 TT(°C)=48  
 PW(mm)=31.2  
 Superficie  
 Temp(°C)=23.8  
 Dewp(°C)=19.1  
 $\theta_e(K)= 339$   
 LI(°C)= -4  
 CAPE(J)=1101  
 CIN(J)= 22  
 Maxima inestabilitat  
 Pres(hPa)= 1005  
 $\theta_e(K)= 339$   
 LI(°C)= -4  
 CAPE(J)=1101  
 CIN(J)= 22  
 Nivell de condensació  
 EH(m2/s2)= 59  
 SRH(m2/s2)=73  
 StmDir=292°  
 StmSpd(kt)=21

La figura representa el radiosondeo registrado en Barcelona el 5 de julio de 2002, inscrito en un diagrama termodinámico. Es una herramienta de gran utilidad didáctica para la explicación de los procesos descritos y que permite, además, la localización del nivel de condensación por la elevación de una parcela de aire en la atmósfera, que será la altura a la que se encontrará la base de la nube que pueda formarse en ese proceso.

En la lección quinta se establece la relación que existe entre la fuerza bórica, debida al gradiente de presión, y el viento. Es pues el lugar adecuado para recordar de manera práctica el concepto matemático de gradiente, procediendo incluso a su cálculo sobre un mapa de isobaras. La aplicación, de manera aproximada, de la ley fundamental de la Dinámica en un sistema de referencia en rotación descubrirá al alumno, como resultado del equilibrio entre la fuerza bórica y la de Coriolis, el concepto de viento geostrófico:

$$\vec{v}_g = -\frac{1}{\rho f} \vec{\nabla} p ,$$

siendo  $\rho$  la densidad del aire y  $f$  el parámetro de Coriolis [3].

Los conceptos fundamentales de meteorología introducidos en esta primera parte del programa de la asignatura han de servir de base para entender los temas posteriores, que tratan problemas más complejos en los que intervienen, en la mayoría, varios de los procesos explicados en los temas iniciales. Así, cuando se plantea el origen y la evolución de las depresiones de latitudes medias, se hace referencia tanto al diferente calentamiento de la superficie terrestre como al establecimiento de circulaciones de viento como respuesta a los gradientes bóricos originados por ese calentamiento diferencial. La visión más global del movimiento del aire se explica en el capítulo dedicado a la circulación general de la atmósfera intentando que el alumno reflexione sobre el funcionamiento y rendimiento del sistema Tierra-atmósfera como máquina térmica. La posible alteración del equilibrio de este sistema se trata en la lección dedicada al cambio climático, donde se aplica un modelo simple unidimensional que se explica con detalle en uno de los textos [1] que se propone para complementar el aprendizaje de la asignatura.

### 3. EVALUACIÓN DE LOS CONOCIMIENTOS ADQUIRIDOS

#### 3.1 Encuesta de la asignatura

A la asignatura de Meteorología de la EUPVG acceden estudiantes de Ingeniería de diferentes especialidades: Química Industrial, Mecánica, Electrónica industrial, Electricidad, Telecomunicación e Informática de gestión. La asignatura está pensada para ser cursada con facilidad con independencia de la procedencia de los estudiantes, asumiendo que los conocimientos previos de éstos con relación a la materia tratada puedan variar mucho de unas especialidades a otras.

Con el fin de estimar el nivel de asimilación del estudiante de los conceptos físicos antes expuestos y evaluar la eficacia de la asignatura en la revisión de éstos, se plantea a los estudiantes que están cursando la asignatura un conjunto de preguntas en un cuestionario anónimo, que es independiente de las encuestas a la asignatura y al profesorado preparada por la Universidad.

En primer lugar, se les presenta un listado de términos y conceptos físicos, y los estudiantes han de expresar cuál creen que era el grado de conocimiento que tenían de cada uno de ellos antes de cursar la asignatura. Deben contestar con una de estas 6 respuestas:

- No lo había oído NUNCA
- Sólo ME SONABA pero nunca lo estudié
- Me lo explicaron pero lo había olvidado
- Lo recordaba UN POCO
- Lo recordaba BIEN
- Lo sabía perfectamente

Algunos de los términos sobre los que se les pregunta son termodinámicos: la *presión parcial* de un gas en una mezcla, la *saturación* en una disolución, los procesos *adiabáticos*, los *cambios de fase* de las sustancias. Otros son mecánicos, como la *convección*, la fuerza de *Coriolis*, el *gradiente* de presión, las *isobaras*, y el principio de *Arquímedes*. También se plantean cuestiones básicas (algunas podrían calificarse incluso “de cultura general”) como que *la presión atmosférica disminuye con la altura*, que *el aire caliente es menos denso que el frío y tiende a subir*, que *al agua le cuesta más cambiar de temperatura que a la tierra*, que *el Sol calienta más el Ecuador que los Polos terrestres* o que *el estado gaseoso de una sustancia requiere más energía que el líquido, y éste más que el sólido*, y alguna que otra curiosidad como que *los huracanes, tornados y borrascas del Hemisferio Norte giran en sentido opuesto a los del Sur*.

A continuación, se les pide a los estudiantes que hagan una valoración de la asignatura en el sentido de haberles sido útil para comprender o recordar los conceptos antes expuestos, escogiendo una de estas opciones:

- No me ha sido NADA útil, no me he enterado
- Ahora al menos ME SUENA
- Simplemente, lo he recordado de haberlo estudiado en la carrera
- Ahora lo entiendo mejor, me han quedado las cosas más claras
- Gracias a la asignatura, domino la mayoría de las cuestiones anteriores

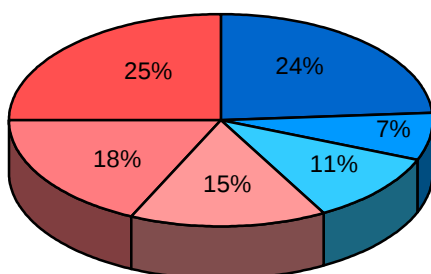
Por simplicidad, se ha excluido alguna otra respuesta posible como *No me ha sido NADA útil, ya dominaba las cuestiones anteriores*, por entender que esta respuesta estaría incluida en la tercera opción.

También se les deja un espacio libre de sugerencias y observaciones, para que los estudiantes maticen sus respuestas o añadan lo que consideren oportuno. Para analizar mejor los resultados, a pesar de tratarse de una encuesta anónima, se les suele pedir a los estudiantes que indiquen la carrera y especialidad que están cursando. En grupos muy reducidos, esta pregunta suele quedar en blanco por el temor del alumno a perder el anonimato.

### 3.2 Análisis del nivel de conocimientos previos

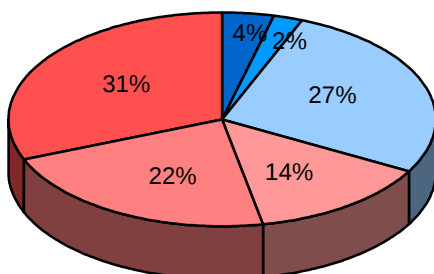
Agrupando las encuestas de diferentes años, sin hacer distinción en la carrera y especialidad cursada, el grado de conocimientos anterior a cursar la asignatura declarado por los estudiantes sobre cada uno de los términos y conceptos expuestos ha sido el que expresan los diagramas siguientes:

Presión parcial de un gas

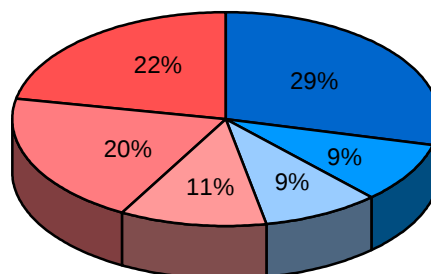


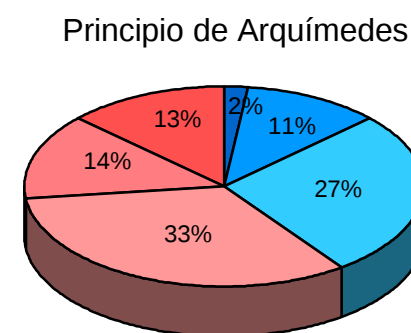
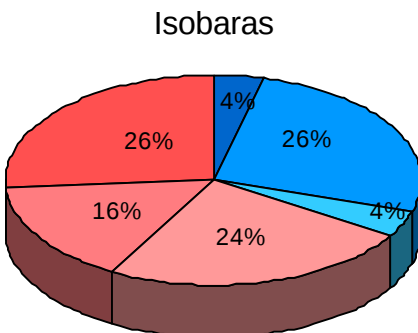
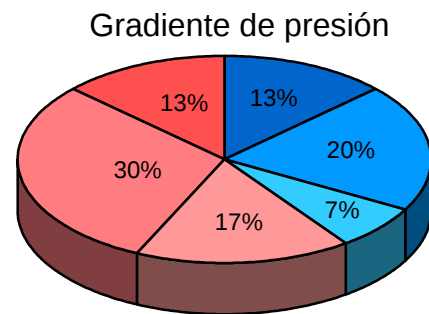
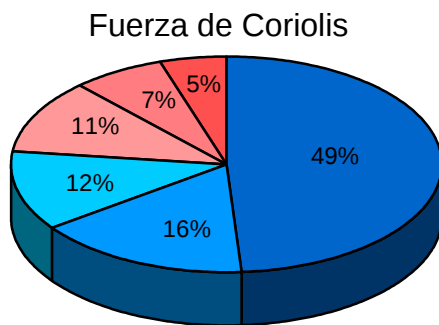
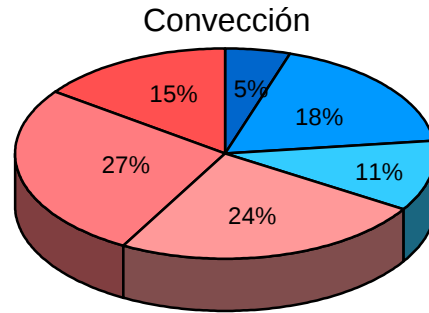
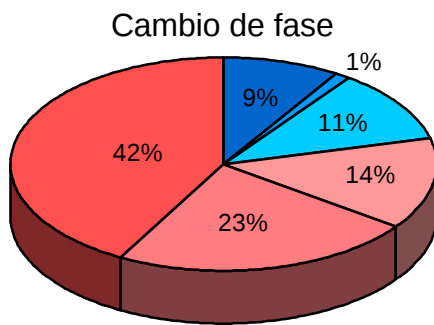
- 1: No lo había oído NUNCA
- 2: Sólo ME SONABA pero nunca lo estudié
- 3: Me lo explicaron pero lo había olvidado
- 4: Lo recordaba UN POCO
- 5: Lo recordaba BIEN
- 6: Lo sabía perfectamente

Saturación de una disolución



Proceso adiabático





En cuanto a las cuestiones básicas, un porcentaje del 82% de los estudiantes encuestados afirma conocer (respuestas 4,5 y 6) que *el Sol calienta más el Ecuador que los Polos*, un 84% que *la presión atmosférica disminuye con la altura*, y un 93% que *el aire caliente es menos denso que el frío y tiende a subir*. A la cuestión que *al agua le cuesta más cambiar de temperatura que a la tierra* responde positivamente un discreto 37%, y sólo un 30% reconoce saber que *el estado gaseoso de una sustancia requiere más energía que el líquido, y éste más que el sólido*. En cuanto a que *los huracanes, tornados y borrascas del Hemisferio Norte giran en sentido opuesto a los del Sur*, mientras un 31% declara conocerlo con anterioridad a cursar la asignatura, un porcentaje similar del 29% afirma *no lo había oído NUNCA*.

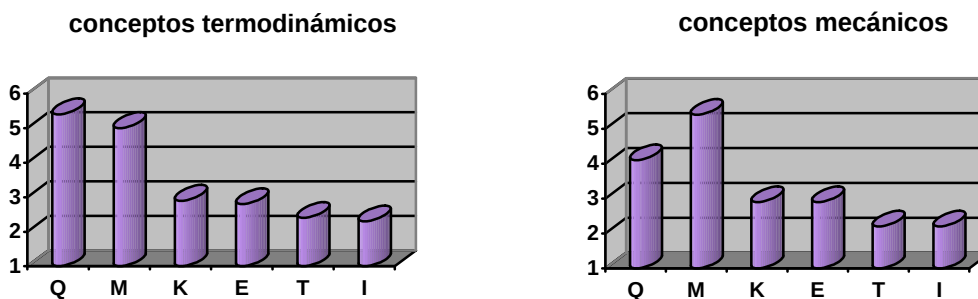
La *fuerza de Coriolis* (o *efecto Coriolis*) es la gran olvidada. De entre todos los conceptos preguntados es el que peores resultados obtiene; casi la mitad de los encuestados, el 49%, declara *no lo había oído NUNCA*. Este porcentaje aún es más abrumador si atendemos a los estudiantes de Ingeniería Informática y a

los de Telecomunicación, superior al 80%. No es un resultado sorprendente: se trata de un concepto frecuentemente evitado o eliminado de los temarios por resultar un poco complejo y controvertido (dada su condición de fuerza inercial o “ficticia”) y, en general, por ser considerado de escasa utilidad o aplicación práctica.

Atendiendo a las encuestas, otro concepto casi desconocido para los estudiantes de Ingeniería Informática y los de Telecomunicación es el de la *convección* (40% de respuestas 1, 60% de respuestas 2: *Sólo ME SONABA pero nunca lo estudié*). En este caso, ese 40% de respuestas 1 sí nos parece muy sorprendente y difícil de creer, dado que consideramos que el término *convección* es de uso común y pertenece al ámbito de la cultura general.

En Termodinámica, los estudiantes encuestados presentan mejores resultados que en el resto de materias. Era de esperar dada la proporción de estudiantes de Ingeniería Industrial de especialidad Química Industrial que formaban parte de la muestra (45%). Estos estudiantes tienen muy presente la Termodinámica en sus temarios, mientras que otros (en Ingeniería de Telecomunicaciones o en Informática, por ejemplo) no la cursan durante su carrera.

Englobando las preguntas que se refieren básicamente a conceptos termodinámicos, y por separado las que están relacionadas con la Mecánica, y distinguiendo entre los diferentes estudios cursados por los estudiantes encuestados, el valor medio del grado de conocimiento declarado por los estudiantes (de 1 a 6) se presenta en los gráficos siguientes:



Q: Ingeniería Técnica Industrial, especialidad Química Industrial  
M: Ingeniería Técnica Industrial, especialidad Mecánica  
K: Ingeniería Técnica Industrial, especialidad Electrónica Industrial  
E: Ingeniería Técnica Industrial, especialidad Electricidad  
T: Ingeniería Técnica de Telecomunicación, especialidad Sistemas Electrónicos  
I: Ingeniería Técnica Informática de Gestión

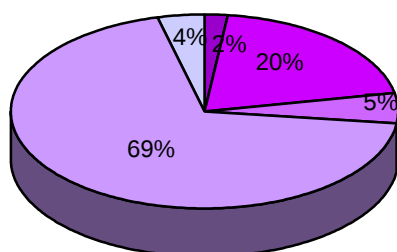
Esta gráfica muestra la influencia del diferente tratamiento que dichos conceptos tienen en el temario de cada especialidad. Tanto la puntuación de los estudiantes de Ingeniería Mecánica como la de los de Química se distancia significativamente del resto en cuanto a los conceptos termodinámicos. Como era de esperar, la puntuación de los estudiantes de Ingeniería Mecánica en las cuestiones relacionadas con conceptos mecánicos se destaca notablemente con respecto a las demás.

Los resultados indican que la utilidad de la asignatura será diferente para cada grupo de estudiantes en función de su procedencia. En unos casos les servirá fundamentalmente como revisión y confirmación de conceptos ya aprendidos, y en otros como introducción y aprendizaje de los mismos. Del mismo modo, creemos que el grado de satisfacción del estudiante con respecto a la asignatura puede verse influido por los estudios de procedencia, dado que en algún caso el contenido de ésta le podrá resultar demasiado ajeno, no sintiéndose, por tanto, especialmente motivado.

### 3.3 Valoración de la asignatura

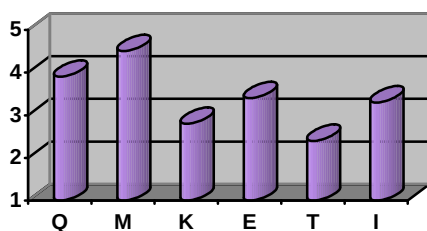
En la misma encuesta se pide al estudiante que valore la utilidad de la asignatura con relación a los conceptos antes expuestos. Se le pregunta si le parece una herramienta eficaz para la revisión de conceptos ya conocidos y para mejorar su comprensión, o, en el caso de no haberlos estudiado con anterioridad, si cree que es una forma útil y satisfactoria de introducirlos. El 71% de los estudiantes encuestados muestra un grado de satisfacción alto (respuestas 4 y 5) frente a la utilidad de la asignatura según muestra la figura:

valoración de la asignatura



- 1. No me ha sido NADA útil, no me he enterado
- 2. Ahora al menos ME SUENA
- 3. Simplemente, lo he recordado de haberlo estudiado en la carrera
- 4. Ahora lo entiendo mejor, me han quedado las cosas más claras
- 5. Gracias a la asignatura, domino la mayoría de las cuestiones anteriores

valoración por especialidades



- Q: Ingeniería Técnica Industrial, Química
- M: Ingeniería Técnica Industrial, Mecánica
- K: Ingeniería Técnica Industrial, Electrónica
- E: Ingeniería Técnica Industrial, Electricidad
- T: Ingeniería Técnica de Telecomunicación
- I: Ingeniería Técnica Informática de Gestión

Por especialidades, los estudiantes que se muestran más satisfechos son los que accedieron a la asignatura con un buen grado de conocimiento de la mayoría de los conceptos en ella tratados; un porcentaje superior al 90% de los estudiantes de Ingeniería Industrial Química y Ingeniería Industrial Mecánica afirman entender mejor las cuestiones relativas a la Física después de haber cursado la asignatura y que ésta les ha ayudado a clarificar conceptos. Asimismo, muestran un nivel similar de satisfacción el 67% de los estudiantes de especialidad Electricidad y el 45% de los de especialidad Electrónica Industrial. Los estudiantes de Ingeniería Informática, a pesar de su bajo nivel de conocimientos previo, muestran un grado de satisfacción similar con un 67% de respuestas 4.

Los estudiantes menos satisfechos son los de Ingeniería de Telecomunicación; un 80% se conforma con un *ahora al menos ME SUENA* (respuesta 2), y considera que no ha conseguido un nivel satisfactorio de aprovechamiento de la asignatura dadas las carencias con las que se accedió a ésta. Algunos de estos estudiantes especifican que la asignatura les ha parecido interesante y curiosa y valoran positivamente que les ha servido para familiarizarse con conceptos desconocidos hasta ese momento. Muchos de los estudiantes de Informática de Gestión encuestados, a pesar de su valoración de la asignatura alta, se quejan de un cierto abuso de lo que califican como "tecnicismos" y que les ha impedido un mejor seguimiento de ésta.

#### **4. CONCLUSIONES**

La experiencia adquirida en los años de docencia universitaria de asignaturas de libre elección de Meteorología ha demostrado que esta materia es un método adecuado y valioso para introducir conceptos básicos de Física en alumnos de carreras científicas y técnicas, o para mejorar su comprensión y asimilación. El programa propuesto es este trabajo para el desarrollo de una asignatura de estas características permite abarcar un amplio espectro de leyes, ecuaciones y nociones fundamentales de la Termodinámica y de la Dinámica de fluidos.

La valoración de los resultados obtenidos por diferentes grupos de alumnos que han cursado estas asignaturas ha mostrado claramente la utilidad de las mismas para afianzar y relacionar conocimientos adquiridos en otras disciplinas.

Los resultados de este estudio indican que la utilidad de la asignatura es diferente para cada grupo de estudiantes en función de su procedencia. En unos casos sirve como revisión y confirmación de conceptos ya aprendidos, y en otros como introducción y aprendizaje de los mismos.

El grado de satisfacción del estudiante con respecto a la asignatura puede estar relacionado con la procedencia del alumno, los estudiantes que se muestran más satisfechos son los que accedieron a la asignatura con un buen grado de conocimiento de la mayoría de los conceptos en ella tratados.

#### **5. REFERENCIAS**

- [1] CASAS, M. C.; ALARCÓN, M. *Meteorología y clima*. Barcelona, Edicions UPC, 1999.
- [2] PUIGCERVER, M., *Sobre el uso y desuso del SI*. Revista Española de Física 5 (1), 23-25, 1991.
- [3] AHRENS, A. D., *Essentials of Meteorology*. Wadsworth Publishing Company, Belmont, 443 pp., 1998.