

**EXPOSICIÓN LECCIÓN INAUGURAL 2020-21 POR MIGUEL
ÁNGEL VILLAMAÑÁN OLFOS- 24/09/2020**

Señor Rector Magnífico,

Excelentísimas e Ilustrísimas Autoridades,

Compañeros Docentes, Investigadores y del Personal de Administración y Servicios,

Alumnos de nuestros cuatro campus,

Señoras y Señores,

En primer lugar, quisiera agradecer la confianza que mis compañeros del Área de Arquitectura e Ingenierías han depositado en mí y el honor que supone el impartir la Lección Inaugural este Curso Académico 2020-21. El marco arquitectónico que nos acoge, inhabitual en este día, el Colegio Mayor de la Santa Cruz, el más antiguo de España fundado por el Cardenal Mendoza con más de cinco siglos de existencia, nos retrotrae al Renacimiento y evoca el avance que éste supuso en el camino del conocimiento y en la andadura de nuestra Universidad.

He elegido como título de esta lección “Termodinámica: del conocimiento a la técnica” por los motivos que expongo. En primer lugar, porque esta disciplina ha sido durante cuarenta y cinco años objeto de mis desvelos en transmitirla a las nuevas generaciones de ingenieros y de extender su desarrollo mediante la propia actividad investigadora; todo ello enmarcado en la aventura académica de interrelación nutricia con la juventud estudiantil por un lado, y de acercamiento a la reflexión sobre el conocimiento mismo y su interacción con nuestra condición humana, por otro.

La Termodinámica es la última de las ciencias físicas clásicas que tomó cuerpo científico, tras la Mecánica, la Óptica, la Electricidad y el Magnetismo. A diferencia de ellas surgió del mundo de la técnica a finales

del siglo XVI cuando se sustituyó progresivamente el trabajo útil muscular de hombres y animales por el producido en la combustión a través de ingenios diversos. El pionero mundial en este empeño fue el ingeniero navarro Jerónimo de Ayanz como lo atestigua su patente como Privilegio de Invención de 1606 conservado en el Archivo de Simancas, casi un siglo antes que Savery y Newcomen en Inglaterra.

Los diferentes artefactos diseñados para trasladar la energía “dormida” en la materia combustible desde la propia llama al trabajo mecánico útil es una tarea difícil y nada directa y requirió dos siglos más de desarrollo a través del método de “prueba y error” hasta que pudiera ser sistematizada de forma científica. Yo diría, parafraseando lo que se dice de la catedral de Palencia, que esta ciencia es también “la bella desconocida”. Su contenido sustancial queda en cierta manera velado en los libros de física general y ello es debido al alto grado de abstracción al que conducen sus “Principios” a pesar de su gran simplicidad matemática.

Se puede datar el nacimiento de la Termodinámica como ciencia en 1824. En ese año, Carnot, un joven ingeniero de 28 años, formado en la prestigiosa École Polytechnique de Paris, publica su famosa obra “Sur la puissance motrice du feu...” [“Sobre la potencia motriz del fuego...”]. En la que se abstrae y traslada sobre el papel los procesos que se utilizaban en las máquinas térmicas que transformaban la potencia motriz del fuego en energía directamente utilizable de forma mecánica y por primera vez aparece en la historia de la ciencia el concepto de “reversibilidad” en su sentido más general, como comentaré más adelante.

La Termodinámica es fundamentalmente la ciencia de la energía y de la relación de ésta con la materia y la radiación térmica. Así pues, estudia todas las posibles transformaciones entre las diferentes formas de energía y cómo esta energía cambia los estados de la materia o de la radiación térmica. Esta ciencia no es solo una de las piedras angulares de la Física, sino que también pertenece a las llamadas ciencias de la ingeniería (“engineering sciences”) y es clave en la formación de nuestros estudiantes de las Escuelas de Ingenierías Industriales y de otras como las de Aeronáutica y del Espacio, Agrónomos, Minas, Caminos.... Por otro lado, es curioso que, debido a su larga gestación en el mundo de la técnica, una

gran parte de sus fundadores procediesen del mundo de la ingeniería a diferencias de otras ciencias físicas.

Pero, ¿qué ha aportado la Termodinámica al conocimiento universal? ¿Cómo ha cambiado y sigue cambiando el mundo? Ya en la Prehistoria, la producción del “fuego” por el hombre cambia totalmente su desarrollo posterior desde el punto de vista de la alimentación, de la iluminación, del confort en sus habitáculos y de sus acciones de defensa y ataque. Posteriormente fue el descubrimiento de la Agricultura lo que cambió la vida de nuestros predecesores hasta la siguiente gran revolución de la humanidad, que se produjo en el siglo XVIII con el empleo generalizado de la máquina de vapor dando lugar a la llamada Revolución Industrial, encontrándonos en la actualidad inmersos en la última gran revolución, la de las Tecnologías de la Información y de la Comunicación.

Finalmente, y como profesor de la Escuela de Ingenierías Industriales de nuestra Universidad de Valladolid, no puedo menos que divulgar las principales aplicaciones técnicas de fundamento termodinámico de que gozamos.

Sin embargo, antes de enfrascarme en el desarrollo de los contenidos anteriores y como familia universitaria que somos, quiero reflexionar acerca de los interrogantes permanentes de nuestro quehacer en la “universitas”:

- ¿En qué consiste la verdadera formación que debe impartir la Universidad?
- ¿Cuál es el tipo de conocimiento creado y transmitido por la Universidad que puede dar al joven universitario esa manera de ser que caracteriza al hombre cultivado?

En este empeño tuve un buen maestro, que con su palabra y con su ejemplo supo vivir y transmitir los valores universitarios más puros, me refiero al que fue durante tantos años catedrático de Anatomía de nuestra Facultad de Medicina, D. Pedro Gómez Bosque. Tuve la suerte de asistir el año que empezaba mi carrera en la Universidad de Valladolid a la Lección Inaugural del curso 1969-70, en que bajo el título “La Ciencia y la Filosofía

en la formación del Universitario”, fue un aldabonazo en la tarea continua de armonizar especialización y humanismo.

Tras esta presentación general desarrollaré mi lección en las tres direcciones apuntadas: i) la esencia del conocimiento y su transmisión por la Universidad; ii) lo que la ciencia de la Termodinámica ha aportado al conocimiento de la humanidad; y iii) las aplicaciones técnicas que atienden las necesidades energéticas básicas del ser humano.

i) LA ESENCIA DEL CONOCIMIENTO Y SU TRANSMISIÓN POR LA UNIVERSIDAD

¿Debe reducirse la universidad a una institución de formación profesional superior únicamente? Esta es la primera pregunta que me inquieta, y estoy convencido que a muchos de mis colegas también.

Detengamos por un momento nuestra actividad cotidiana y dirijamos nuestra atención a los fundamentos espirituales de la actividad docente, y tanto más en estos momentos en que las últimas reformas realizadas tienden a hacer más breves las carreras y a reducir el tiempo de la educación superior en aras de un acceso más práctico y fácil a la actividad profesional y por tanto al bienestar económico, lo que en principio puede suponer una amenaza a los fundamentos de nuestra “universitas” institucional, que se arrastran desde que hace ocho siglos comenzó su andadura con el “Studium Generale” de Palencia del que la Universidad de Valladolid es directa heredera.

Vivimos en la época de la velocidad y esta prisa por llegar a un objetivo lejano que una vez alcanzado deja de ser satisfactorio parece haber contagiado las cosas del espíritu. Para madurar se necesita holgura temporal, horas calmas de reflexión y meditación, por eso si cercenamos el tiempo dedicado a los estudios superiores, nos encontraremos con personas que sin completar su entera formación en el bachillerato atraviesan como meteoros la Universidad para hundirse definitivamente en el tráfigo de la vida cotidiana sin haber tenido oportunidad de acceder a las alturas de una auténtica formación integral de sus espíritus.

Pero ¿cómo lograr conjugar el conocimiento profesional científico- técnico con el saber humanista?

El conocimiento científico-técnico, por sí solo, no es formativo, para conseguir la formación plena hay que conjugar la ciencia con el saber humanista.

El *saber o conocimiento científico-técnico* es un saber fragmentario, parcial, que además se dirige a objetos contingentes y relativos, conducentes a una especialización circunscrita.

A diferencia del saber científico- técnico, el *saber filosófico o humanista*, es un conocimiento global de la realidad capaz de “*humanizar*” al hombre, valga la redundancia.

En resumen, *el científico humanista*, esto es, la persona que sabe unificar y coordinar las actividades básicas de ambos tipos de conocimiento, es el prototipo y *el modelo ideal* que debe seguir el universitario; y esto vale tanto al universitario que está en periodo de maduración como para aquel otro que ya ha tenido acceso a los puestos docentes e investigadores de la Institución Universitaria.

Así pues, puede afirmarse, que aquella persona que se limita a conocer se mueve todavía en el *plano de la conciencia directa*, mientras que aquella otra que además de conocer *conoce su propio conocimiento* y el fondo espiritual de donde surge su actividad, ha pasado al *plano de la conciencia refleja*, ha madurado como espíritu y ha dado un paso decisivo para *constituir la médula de su propia humanidad*.

Si viajamos con la imaginación a los albores del siglo XIII, época de creación del “*Studium Generale*” de Palencia y de la Universidad de Valladolid a finales del mismo siglo, asistiremos entonces al nacimiento en Europa de las Universidades medievales, es decir, a las raíces de la “*universitas*” [= '*el todo, lo total, el universo, el mundo*'].

Si, de nuevo, volvemos a utilizar la imaginación para dar un nuevo salto y consideramos lo que ocurre en el panorama espiritual de Europa a comienzos del siglo XVI nos enfrentamos con un fenómeno decisivo para la historia de la humanidad, *la aparición del espíritu científico-técnico*.

Europa, que ha aportado a la humanidad valores espirituales insustituibles; ha sido la matriz donde ha germinado y ha alcanzado su plena madurez la

Ciencia contemporánea que ha extendido a otros continentes. Esa Ciencia se caracteriza por su *conciencia del método experimental*, y por su preocupación por la *objetividad*.

La eclosión de la Ciencia va a producir un cambio sustancial en los programas universitarios pues a partir del nacimiento del espíritu científico-técnico *el saber humanista es desplazado paulatinamente* de los programas de enseñanza y así se llega a la situación actual. Así pues, llegamos a la dicotomía entre las ciencias del espíritu y las ciencias positivas o de la naturaleza.

¿Es posible armonizar el conocimiento científico-técnico con el humanista de alguna manera? ¿cómo vivir la actividad científica concreta con un estilo filosófico?

Quiero mostrar como ejemplo de este empeño lo expresado de manera inigualable por Laín Entralgo en lo que respecta a las Ciencias Médicas, pero que es directamente extrapolable a cualquier otra formación científico-técnica. Habla de lo que denomina el “**humanismo transtécnico**”; es decir de **una formación humanística lograda a través de la técnica misma**. ¿Cómo? Introduciendo **como hábito mental de sus docentes y alumnos**, estas cinco preocupaciones cardinales:

- a) **Pasar del saber técnico al saber filosófico**, reflexionando sobre la forma de conocer ese saber científico-técnico (en su metodología, implicaciones, limitaciones, ...)
- b) **Pasar del saber técnico al saber antropológico**, el sentido humano de la técnica y la vida.
- c) **Pasar del saber técnico al saber histórico**. Cómo se ha hecho y se ha entendido antes de nuestro tiempo lo que técnicamente se sabe y se hace.
- d) **Pasar del saber técnico al saber artístico**. Cómo ha sido representado artísticamente en su expresión literaria y plástica aquello que se hace.
- e) **Pasar del saber técnico al saber filológico y al mundo de la poesía**. Cómo ha dicho y dice aquello que uno hace el fascinante mundo de la expresión verbal.

Así pues, a través de la técnica misma se logra una formación humanística “transtécnica”. Y concluye en su artículo “Idea de una Facultad de Medicina”, ¿no es cierto que el especialista médico, **el investigador y el docente** así formados, serán hombres **universitariamente cultos**, además de ser personas **universitariamente competentes** en su respectiva materia”.

Pasemos a continuación a la segunda parte de esta lección, **ii) LO QUE LA CIENCIA DE LA TERMODINÁMICA HA APORTADO AL CONOCIMIENTO DE LA HUMANIDAD HASTA EL MOMENTO ACTUAL.**

Tal vez la mejor carta de presentación para esta sección sea lo que manifestaba Albert Einstein algunos años antes de su muerte, literalmente decía:

“Una teoría es tanto más impresionante cuanto mayor es la sencillez de sus premisas, cuanto más variados son los tipos de cosas que relaciona y cuanto más amplia es su área de aplicación.

Este es el motivo de la honda impresión que me causó la Termodinámica Clásica.

Es la única teoría física de contenido universal, de la que estoy convencido, por lo que al mismo concierne, que, dentro del campo de aplicación de sus conceptos básicos, nunca será desechada”

Albert Einstein, 1949

Para encontrarnos con la Termodinámica no es necesario encerrarse en un laboratorio y preparar de forma especial ciertos experimentos. Nos sale al paso casi a cada instante de nuestra actividad humana básica,

- La medida de la temperatura de nuestro cuerpo es un primer indicio de enfermedad; ahora especialmente con la pandemia del coronavirus, es el primer paso para su detección.
- El secado de nuestra ropa, nuestra olla a presión, nuestras nieblas y escarchas.

- Nuestros dispositivos electrónicos usuales, ordenadores, video-proyectores, no pueden funcionar a cualquier temperatura, exigen ventilación.
- Nuestros frigoríficos, congeladores, bombas de calor, calderas de calefacción, centrales termoeléctricas, coches, aviones, barcos y cohetes se fundamentan en la Termodinámica.
- Y así un largo etcétera.

¿Cómo explicar de raíz todos estos fenómenos y dispositivos? ¿Cómo podemos *definir la Termodinámica* de forma sencilla? Si buscamos en su etimología encontramos dos raíces griegas [θέρμη](#)- *therme* (*calor*) y [δύναμις](#)- *dynamis* (*fuerza, energía*). Este vocablo fue introducido a mediados del siglo XIX por los fundadores de la misma haciendo honor a su procedencia de las máquinas térmicas, sin embargo, en su desarrollo posterior este enfoque primigenio se magnificó. Así, Termodinámica es aquella ciencia física que *establece el puente entre las diferentes formas de energía y de éstas con la materia y la radiación térmica*.

La energía es como el “alma” de la materia. Aunque tengamos a nuestra disposición el modelo más avanzado de automóvil, nos será inútil si su depósito de combustible está vacío. Las moléculas de dicho combustible almacenan energía, pero esa energía no es directamente utilizable, está como dormitando, y es necesario despertarla, domesticarla y transformarla en energía mecánica útil de forma ingeniosa, esta es la tarea de los ingenieros. Aquí entra la Termodinámica que nos va enseñar cuál es el máximo grado posible de transformación de unas energías en otras, y por tanto juzgar el progreso y la mejora de cualquier ingenio o dispositivo energético.

Pero, ¿cuáles son los cimientos que gobiernan el mundo energético? Éstos cimientos se enuncian como Principios, que son aseveraciones universales basadas en la observación experimental, es decir, verdaderos teoremas de la experiencia, a los que no se ha visto contradicción alguna hasta el momento. Se enuncian con palabras y no con fórmulas resultantes de experimentos. Éstas vendrán después al desplegar su contenido.

Algún autor jocosamente ha expresado que los termodinámicos son gente de principios, pero lo que les salva es que solamente tienen cuatro, los Principios Cero, Primero, Segundo y Tercero, que trataré de explicar de la forma más breve y clara posible.

El Principio Cero descubre el equilibrio térmico. Éste no se manifiesta como un equilibrio de fuerzas, sino que se establece entre dos cuerpos de forma “invisible” a través de la pared de separación. Nuestro sentido del tacto detecta sensaciones térmicas diferentes evolucionando ambos hasta un mismo estado térmico final. Es lo que observamos cuando no tomamos pronto nuestro café y se enfría hasta equilibrarse con el ambiente. La nueva magnitud física, que sirve para etiquetar numéricamente cada estado de equilibrio térmico alcanzado, es la temperatura.

La temperatura emerge así como magnitud fundamental añadiéndose a las otras seis que sostienen el Sistema Internacional de Unidades (SI). Pero su importancia no está solamente en ese rasgo sustancial, sino que, permítaseme la expresión, es una “magnitud paraguas” arrojando al resto de magnitudes de dicha sustancia, generando una interrelación entre ellas que dibuja el mapa térmico de cada sustancia y nos permite viajar por sus diferentes estados de agregación, sólido, líquido y gaseoso.

A continuación, **El Primer Principio** descubre la conservación de todo tipo de energía existente. Hasta su introducción, sólo se consideraba como interacción energética al trabajo mecánico, es decir a una fuerza que produce el desplazamiento de un cuerpo, que se conservaba almacenándose en forma de energía cinética (cambio de velocidad del cuerpo) y de energía potencial (cambio de posición del cuerpo en el campo gravitatorio terrestre).

Sin embargo, algo tan familiar en nuestra concepción actual del mundo de que el calor es también energía no quedó establecido hasta hace poco más de siglo y medio. Hasta entonces se consideraba al calor como un fluido ingrávido que se transfería conservándose de un cuerpo a otro.

Ello introduce una nueva forma de acumular energía en la materia, no ya de forma “externa” como las energías cinética y potencial antes citadas, sino de forma “interna” en sus átomos, moléculas o iones; a esta nueva forma de

acumular energía se la llama energía interna. Así pues, la materia es como una “esponja térmica” capaz de almacenar energía semejantemente a como una esponja puede acumular agua. Como conclusión de este principio, *la energía ni se crea ni se destruye, sino que solamente se transforma.*

Pasemos a explicar el siguiente principio, éste es **el Segundo Principio** o principio de degradación de la energía. Es el más abstracto y difícil de entender a la par que proyecta consecuencias de más largo alcance. ¿Por qué la energía al utilizarse se degrada, es decir pierde prestaciones? La razón está en que los procesos reales son en mayor o menor grado irreversibles. ¿Qué significa este término? Significa que la naturaleza es una calle de dirección única y que no se puede volver hacia atrás, sin más, es decir espontáneamente. Para hacerlo, hay que aplicar una energía adicional de restauración del proceso. Para comprender esta idea, podemos asemejarlo a intentar cambiar de sentido en una autopista; no se puede hacer espontáneamente en cualquier lugar, hay que seguir hasta encontrar la salida apropiada para realizar el cambio de sentido.

Para expresarlo matemáticamente, Clausius en 1856 introdujo una nueva propiedad de la materia: la entropía. Al hacer el balance de la misma entre los elementos de cualquier interacción energética, su variación neta total nunca puede ser negativa. Esta generación entrópica es positiva en los procesos reales, y en el límite puede ser utópicamente cero en los llamados procesos reversibles. El objetivo del ingeniero es perfeccionar los procesos energéticos de forma que se reduzca cada vez más esa generación entrópica.

Así pues, la entropía aparece como un indicador de evolución, dando una expresión matemática para la “flecha del tiempo”, lo que justifica la icónica frase de Clausius:

“...las leyes fundamentales del Universo pueden ser expresadas de la siguiente manera sencilla:

- 1) *La energía del mundo es constante.*
- 2) *La entropía del mundo se dirige hacia un valor máximo.”*

El secreto de esta aportación al conocimiento partió de la técnica tras dos siglos largos de mejora de la máquina de vapor encontrando en su esencia de funcionamiento las leyes más genéricas de evolución del universo.

Pero, ¿cómo dar sentido a la ley de la entropía? Esto vino años después con la interpretación microscópica de la Termodinámica; Boltzmann demostró que *la entropía es una medida del desorden en el almacenamiento de la energía en la materia*. Algo así como comparar dos bibliotecas con idénticos libros, pero con la diferencia de que en una de ellas los libros están perfectamente ordenados mientras que en la otra están colocados de forma caótica; lógicamente, la calidad de servicio que da la biblioteca ordenada es mucho mayor que la desordenada.

Ante este panorama, nos embarga una inquietud: si en la evolución de todos los elementos del universo *la energía se está continuamente degradando* en mayor o menor grado, *¿cómo es posible que el hombre progrese creando estructuras y conocimiento que ordenan el cosmos?* Para lograr explicar esta aparente paradoja, me van a permitir hacer una pirueta mental, a través de la famosa frase de nuestro filósofo Ortega y Gasset: “yo soy yo y mis circunstancias”. Los elementos del cosmos no son islas impenetrables, sino que están interconectados energéticamente. Unos se ordenan a costa de que otros se desordenen, siendo mayor el desorden resultante global producido. Cada uno de nosotros, desde que nacemos ordenamos lo que nos rodea a base de ir progresivamente desordenando nuestras células por la irreversibilidad de los procesos bioenergéticos que en ellas van teniendo lugar en el transcurso de la vida hasta su final.

El Tercer Principio es el último principio de la Termodinámica y expresa las singulares propiedades de la materia cerca del inalcanzable cero absoluto, $0\text{ K} = -273,15\text{ °C}$ en el que todos los procesos se interrumpen y la entropía de una sustancia alcanza su valor mínimo, apareciendo fenómenos inusuales, como la superconductividad, la superfluidez o la condensación de Bose-Einstein, llamados por algunos el quinto estado de la materia.

iii) LAS APLICACIONES TÉCNICAS QUE ATIENDEN LAS NECESIDADES ENERGÉTICAS BÁSICAS DEL SER HUMANO

Y tras este denso bagaje de conocimiento termodinámico, llega el momento de sacarlo utilidad para satisfacer nuestras necesidades humanas y de darle una *proyección técnica*. Me voy a centrar únicamente en las dos tareas energéticas que son común denominador de cualquier proceso industrial y de nuestra vida doméstica. Éstas son dos:

1. *La producción de potencia útil* mediante los *motores térmicos* que están en el corazón de nuestras centrales termoeléctricas, de nuestros automóviles, barcos, aviones, cohetes, ...
2. *La producción de frío y de calor* mediante máquinas frigoríficas y bombas de calor respectivamente.

Cuando enchufamos cualquier dispositivo a la red eléctrica y viajamos mentalmente hasta el origen de su producción o cuando subimos a un automóvil, a un avión o a un barco y pensamos en lo que hay más allá de hacer contacto y circular, encontraremos lo que genéricamente se denomina un motor térmico, heredero de la primigenia máquina de vapor, pero mucho más perfeccionado siguiendo las pautas de los Principios antes explicados.

Pasemos ahora a la última aplicación técnica que describiré, *la producción de frío y de calor*. Podrá parecer contradictorio que ligue la producción de frío a la de calor. *Termodinámicamente frío y calor son dos caras de una misma moneda*. Siempre que se produce frío se produce calor, cada uno de nosotros lo podemos comprobar con nuestro *frigorífico* en casa. Si ponemos la mano en el serpentín trasero del electrodoméstico, observamos que está caliente, está “bombeando” calor del recinto frío al ambiente para bajar y mantener una temperatura inferior a la del exterior. Pues bien, nuestro frigorífico está continuamente haciendo ciclos termodinámicos.

La producción de calor de la forma más eficiente posible se logra también con un ciclo frigorífico, cambiando su rol de producir frío en producir calor. Esto es lo que pasa con las *bombas de calor* de nuestros sistemas de climatización, que en realidad funcionan como frigoríficos al revés, intercambiando sus funciones; así se enfría el aire del ambiente exterior y con ello se calienta nuestro habitáculo. Este dispositivo llega al límite de lo más perfecto termodinámicamente frente al convencional sistema de

combustión en una caldera o la calefacción eléctrica, que degradan mucha cantidad de energía. Desde el punto de vista socioeconómico es altamente ventajoso pues supone un gran ahorro en energía primaria, es más sostenible y menos contaminante, pues la energía gastada en hacer funcionar el ciclo multiplica el calor de calefacción obtenido.

No quisiera acabar esta lección inaugural sin hacer una loa de nuestra noble tarea de enseñar, por un lado, y del privilegio de aprender y acceder a una formación superior por otro. Pienso que no debemos olvidar que los profesores no somos sólo instructores, sino que también llevamos la tarea consustancial de educar en su sentido más amplio y profundo. Su etimología del latín, *ex ducere*, significa conducir- sacar desde dentro hacia afuera ese potencial que lleva cada uno de nuestros alumnos dentro de su persona y enriquecerlo profesionalmente. Ya Sócrates, el gran maestro de nuestra civilización occidental, decía ejercer el mismo oficio que su madre, partera (comadrona), sólo que, en vez de ayudar a parir a las mujeres, ejercita su oficio en el alma de los hombres. Y como él, ser tábano que estimule el aprendizaje de nuestros discípulos, teniendo siempre presente el aforismo del filósofo renacentista francés Michel de Montaigne, “más vale una cabeza bien hecha, que bien llena”. He dicho.