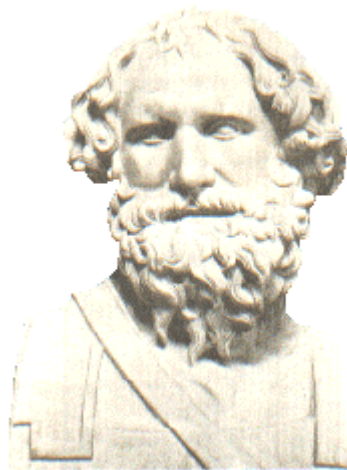


¡ EUREKA!, ¡ EUREKA! eurhka, eurhka

EL PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES
visto desde la perspectiva de un diálogo clásico.



Arquímedes: ¡ Lo encontré, lo encontré!

Filáfanos: ¿Y eso es todo lo que se te ocurrió decir?

Arquímedes: ¡ Calla! Que eso no fue lo peor, que cuando me di cuenta estaba en el palacio de Hierón...

Filáfanos: ¡ Hombre, claro, si fue él quien te metió en ese lío!

Arquímedes: No te enteras, es que llegué..., ¿adivinas?, llegué... ¡ desnudo!

Filáfanos: ¿Qué me dices? ¿Fuiste desde los baños hasta el palacio del rey Hierón, por todas las calles de Siracusa, ¡ desnudo!?

Arquímedes: Así fue y tuvieron que prestarme una túnica para presentarme ante el rey, que al principio bien que supo aguantarse por miedo a que no le tuviera la respuesta, pero cuando se lo expliqué todo, hay que ver cómo se despachó.

Filáfanos: Pero cuenta, cuéntame si el rey quedó complacido.

Arquímedes: Al principio, con la emoción del momento, fue tal mi barullo que el rey casi me manda matar porque no entendía nada, así que tuve que contárselo todo desde el principio:

Comprenderá, Majestad, que al principio me viera en un aprieto, pues tenía que saber si la corona que mandó hacer a su orfebre era sola y exclusivamente del oro que le dio para ella. Sabíamos el peso del oro, que la corona tenía ese peso y además no queríamos que se destruyese la corona para calcular su volumen,

pues si conociéramos el volumen, sabríamos si contiene todo el oro que le dio al orfebre para hacerla.

¿Cómo podrías saber si el peso de la corona corresponde al oro entregado sabiendo su volumen? -me preguntó su Majestad intuyendo la posibilidad de robo y yo le contesté: Es fácil, porque podría haber sustituido parte del oro por plata o cobre y como estos metales pesan menos que el oro, se necesita *más cantidad* para el mismo peso, es decir, la corona tendría un volumen mayor del que debiera tener si fuera sólo de oro.

¿Y por qué no calculas el volumen de la corona? -me volvió él a preguntar. Esto ya no es tan fácil. Se puede calcular el volumen de un cuerpo regular, como el de una moneda, que es cilíndrica: el volumen de una moneda cilíndrica es igual a su radio al cuadrado por su altura por pi; sabiendo el volumen de una moneda, sé el de todas juntas. ¿Pero cómo calcular el volumen de un cuerpo totalmente irregular? Eso era lo difícil

Filáfanos: ¿Y el rey se quedó tranquilo con esa explicación?

Arquímedes: No, al principio se sintió defraudado, pero quise contarle todo lo sucedido para que luego comprendiera mejor la explicación, así que le conté que me dirigí a los baños y lo que allí ocurrió que tú ya lo sabes.

Filáfanos: Sí, ya sé cómo se puso el encargado de los baños cuando te metiste a lo bestia en la bañera derramando toda el agua: ¿Pero qué es esto, señores? ¡Ni *El Gordo Leontino* derramó nunca tanta agua!.

Arquímedes: Esa fue la huella que me condujo a mi presa: *El gordo Leontino* parece que derrama el agua cada vez que se mete en la bañera, pero ¿por qué? Pedí que me llenaran la bañera a ras, me metí y efectivamente, yo también derramé agua. Salí y medí en la bañera el nivel del agua que faltaba. Volví a pedir que me llenaran la bañera a ras y volví a meterme, se volvió a derramar el agua, me volví a salir, volví a medir en la bañera el nivel del agua que faltaba: ¡era el mismo! ¡ Lo encontré, lo encontré!



Filófanes: Sí, ya, lo encontraste, pero ¿el qué?

Arquímedes: ¡ El modo de calcular el volumen de un cuerpo irregular!, porque si mi cuerpo derrama cada vez la misma cantidad de agua, está derramando el mismo volumen de agua que corresponde, ni más ni menos, al volumen de mi cuerpo. Sí, cualquier cuerpo sumergido en un líquido desplaza un volumen de líquido igual al cuerpo sumergido. Pero lo importante es que convencí al rey para demostrarlo e hice traer una bañera:

‘¿No te querrás bañar otra vez? -se burló el rey provocando risitas a mi alrededor. No, Majestad, sólo quiero comprobad si os han estafado. Veis la bañera llena a ras y veis cómo introduzco la cantidad de oro que entregasteis al orfebre. Ved, mi señor el agua que se derrama. Saquemos las monedas y midamos el nivel del agua. Ahora, prestad atención, Majestad. Hemos llenado otra vez la bañera a ras y voy a introducir la corona: si, una vez introducida y sacada, el nivel del agua es el mismo, el orfebre es honrado; pero si el nivel del agua está por debajo, significará que la corona tiene más volumen y por tanto que contiene otros metales que pesan menos y tienen más volumen.

Así hicimos y el pobre orfebre perdió la cabeza.



Filófanes: Entonces, si ya resolviste eso, ¿qué hacemos otra vez metidos en las bañeras?

Arquímedes: Quiero comprobar otra cosa. Levanta el brazo e intenta ver cuánto pesa; ahora mete el brazo en el agua y dime si crees que pesa igual dentro que fuera.

Filófanes: ¡ Vaya tonterías que haces! ¿Oye?, parece que pesa menos en el agua!

Arquímedes: ¡ Exacto!

Filófanes: Pero eso es imposible, cómo voy a pesar menos en el agua que en el aire.

Arquímedes: ¿Por qué crees que flotan los barcos? ¡ Porque pesan menos que el agua!

Filáfanos: Estás borracho.

Arquímedes: Sí, de emoción. Imagínate una bañera llena de agua y como el agua es la suma de múltiples gotas de agua, imagínate una bañera llena de gotas de agua, ¿por qué las gotas de arriba no caen hacia abajo? y sabemos que no caen porque si cayesen, al igual que cuando hierven, otras gotas tendrían que ir hacia arriba e igualmente caer de nuevo y así sucesivamente, creando el movimiento continuo y como el agua queda en reposo no existe ese movimiento, por tanto las gotas no caen.

Filáfanos: Tú quieres que yo caiga mareado.

Arquímedes: No. Dime: ¿por qué no caen las gotas de agua hacia abajo? ¿No será que no caen porque reciben un empuje que las mantiene en su sitio?

Filáfanos: No veo que sea de otro modo.

Arquímedes: Entonces, ¿cuál será la fuerza de ese empuje para que la gota de agua no caiga?

Filáfanos: No sé.

Arquímedes: Si tenemos una gota de agua sujeta por el empuje de las otras gotas de agua, el empuje será necesario que sea igual al peso de la gota de agua que empujamos, pues si fuera el empuje menor que el peso de la gota, ésta se hundiría; y si el empuje fuera mayor, ésta se saldría de la bañera ¿o no?

Filáfanos: Sí, es necesario que así sea.

Arquímedes: Y si quitamos la gota de agua y ponemos un cuerpo con el mismo volumen y el mismo peso que la gota de agua, no recibiría también un empuje igual al peso de ese cuerpo?

Filáfanos: Así debe de ser.

Arquímedes: Y ese peso del cuerpo ¿no es igual al peso de la gota de agua que hemos quitado o desalojado de su sitio?

Filáfanos: Si ocupa su mismo volumen y su mismo peso, sí.

Arquímedes: Pues entonces podemos concluir que todo cuerpo sumergido total o parcialmente en un fluido experimenta un empuje vertical hacia arriba igual al peso del volumen del fluido que desaloja.

Filáfanos: Entonces, volviendo al principio, mi brazo pesa menos dentro del agua, porque el agua lo sujeta, lo empuja hacia arriba, ¿no?

Arquímedes: Efectivamente.

Filáfanos: Entonces, ¿cómo puedo saber si un objeto se hunde o no al introducirlo en agua?

Arquímedes: Hemos dicho que el empuje es igual al peso del líquido desalojado ($E = P_{liq}$), por tanto el empuje será igual al volumen del líquido desalojado por la densidad del líquido desalojado ($E = V_{liq} \cdot d_{liq}$).

Filáfanos: Pero, ¿cómo puedo saber si un objeto se hunde o no?

¡ EUREKA!, ¡ EUREKA!

Miguel A. BENJUMEA PULIDO Antonio VEGA SANCHEZ

Arquímedes: Espera, hombre. Recuerda tu brazo: en el aire tiene un peso, dentro del agua parece que tiene otro que llamaremos peso aparente; pues según todo lo dicho anteriormente el empuje será igual al peso en el aire menos el peso aparente dentro del agua ($E=P-P_{\text{aparente}}$), es decir, el peso de un cuerpo sumergido en el agua se ve reducido en una cantidad igual al peso del agua desalojada ($P_{\text{aparente}}=P-E$).

Filáfanos: Sí, muy bien, pero, cómo puedo saber si un objeto se hunde o no?

Arquímedes: Recuerda primero que el peso de un cuerpo es igual a su volumen por su densidad ($P=V*D$) y que el empuje es igual al volumen del líquido desalojado por la densidad de ese líquido ($E=V_{\text{liq.}}*d_{\text{liq.}}$) y recuerda también el primer principio que obtuvimos: cualquier cuerpo sumergido en un líquido desplaza un volumen de líquido igual al cuerpo sumergido. Pues bien, si cogemos un objeto cualquier, pueden darse tres situaciones:

1º: que el peso del objeto sea mayor que el empuje ($P>E$, es decir, $[V*D > V_{\text{liq.}}*d_{\text{liq.}}] = [D > d_{\text{liq.}}]$). En este caso el objeto se hundirá.

Ejemplo: un trozo de hierro en agua

2º: que el peso del objeto sea menor que el empuje ($P<E$, es decir, $[V*D < V_{\text{liq.}}*d_{\text{liq.}}] = [D < d_{\text{liq.}}]$). En este caso el objeto flotará sumergida sólo la parte del mismo necesaria para que el empuje equilibre exactamente al peso.

Ejemplo: un trozo de madera en agua

3º: que el peso del objeto sea igual al empuje ($P=E$). En este caso el objeto permanece en equilibrio en el seno del líquido sin flotar ni hundirse, exactamente donde lo pongamos ($P=E$, es decir, $[V*D = V_{\text{liq.}}*d_{\text{liq.}}] = [D = d_{\text{liq.}}]$). Al final todo es cuestión de densidad.

Ejemplo: un globo lleno de agua en agua

Filáfanos: Si sabemos las densidades del líquido y del cuerpo es fácil saber entonces si un cuerpo se hunde o no, ¿pero podríamos hacer que lo que se hunde, no se hunda o lo que no se hunde, se hunda?.

Arquímedes: Hemos visto que existen dos factores que afectan al empuje y por lo tanto a la posición de un cuerpo dentro de un líquido total o parcialmente sumergido: 1º: la densidad del líquido; 2º: la densidad del cuerpo. Si cambiamos alguna de esas densidades, cambiaremos la situación.

Filáfanos: Ponme algún ejemplo para que pueda entenderlo mejor.

Arquímedes: **¿Dónde pesa más 1 kilo de hierro en agua o en aceite?**

Filáfanos: Si pesa un kilo, pesará igual lo metas donde lo metas.

Arquímedes: No. Un kilo de hierro pesa un kilo en el aire, pero al igual que nuestro brazo pesaba menos sumergido en el agua, el hierro también pesará menos dentro del agua, pesará su empuje menos. Y su empuje es igual al peso del líquido desalojado, en este caso igual al peso del agua desalojada. Pero si lo metemos en aceite, desalojará un volumen de aceite igual que de agua, pero como el aceite es menos denso, el peso del aceite desalojado también será menor y como el peso del aceite desalojado es igual al empuje, este empuje será menor, es decir, el kilo de hierro introducido en aceite recibe un empuje vertical hacia arriba menor que introducido en agua, por tanto, el hierro pesará más sumergido en aceite que en agua, vamos que se hundirá antes en aceite que en agua.

Filáfanos: ¿No serás que haces magia?.

Arquímedes: Si metes un huevo en agua, éste se hunde, pero ¿podrías sacarlo a flote?.

Filáfanos: No sé cómo.

Arquímedes: Pues echando la suficiente sal y cuando ésta esté disuelta, verás que el huevo sube a la superficie, pues hemos convertido un líquido poco denso como es el agua en otro más denso como la salmuera y el empuje en la salmuera aumentará lo suficiente para llevarlo a la superficie.

Filáfanos: Vale. Pero hasta ahora sólo hemos cambiado el líquido, enseñame cómo afecta la flotabilidad si cambiamos la densidad del cuerpo.

Arquímedes: Imagínate una bola de arcilla de las que utilizan los ceramistas, si la metes en agua, ¿qué ocurre?

Filáfanos: Que se deshace. ¡ Vale! ¿No me digas que no se hunde?

Arquímedes: Efectivamente, se hunde, pero ¿qué harías para que flotara sin cambiar en este caso la densidad del agua?

Filáfanos: Pues no se me ocurre nada.

Arquímedes: Si cogemos esa misma arcilla y como nuestro buen ceramista, sin quitarle peso, le damos otra forma como la de una barca...

Filáfanos: ¡ Flotaría! Pero ¿por qué?

Arquímedes: Primero porque aumenta su volumen y segundo porque al cambiar de forma hemos hecho un cuerpo de volumen ocupado por una masa de arcilla y el aire que penetra en el seno de la barca y por tanto hemos conseguido que aunque el peso de la bola aumenta mínimamente con el peso del aire, desaloje mucho más agua por su mayor volumen y por tanto que su empuje sea mayor, lo suficiente como para que se mantenga a flote. Otro ejemplo: imagínate que tenemos un odre que al llenarse, se inflara como los buenos pellejos de vino que compras en Ismaro, si introducimos en él una barrita de hierro, ¿se hundirá?

Filáfanos: Así como me preguntas, mi primera impresión es que sí.

Arquímedes: Muy bien; pero si cogemos ese odre y empezamos a llenarlo de aire, ¿llegará a flotar?

Filáfanos: Si no se rompe.

Arquímedes: Efectivamente. Al llenarse de aire, el cuerpo estará aumentando mucho su volumen, pero poco su peso, con lo que aumentará mucho el volumen de agua desalojada, aumentará mucho el peso del agua desalojada y por tanto su empuje. Y si se rompe, en vez de aire entrará agua con lo que el peso del cuerpo aumentará tanto que el empuje que experimenta no es suficiente para hacerlo flotar.

Filáfanos: Hay que ver cómo eres, pues hasta una broma te sirve para tus cálculos. Pero esta vez voy a por tí. Todo esto está muy bien, pero sólo haces trucos cambiando el agua por otra cosa o realmente cambiando un cuerpo por otro, tanto modelar, inflar

y desinflar. Dime, ¿cómo harías para hacer flotar o hundir en un mismo líquido un cuerpo sin cambiar su forma?

Arquímedes: Sigue imaginándote el odre, que lo hemos vuelto a coser: lo llenamos de agua, cerramos su boca y lo metemos en agua, ¿se hunde?

Filáfanos: Amigo mío, ya me pones en duda, pero así de principio diría que sí.

Arquímedes: Sí, se hunde. Imagínate un barco con forma de odre y nosotros dentro de ese barco y lo llenamos de agua y cerramos su boca, ¿se hunde?.

Filáfanos: No sé qué decirte, pues creo que antes de enterarnos, nos quedaríamos un poco aguados.

Arquímedes: He de suponer que al igual que en el caso del odre, nos hundiríamos. Pero si pudiéramos ir sacando esa agua y metiendo aire, ¿qué pasaría?.

Filáfanos: Pues que ya no nos iríamos de eternas vacaciones al Hades. A parte de bromas, tendríamos que flotar, pues el volumen de este barco submarino seguiría siendo el mismo, pero su peso muchísimo menor, por lo que si el empuje es mayor que el peso del barco submarino, éste tendría que flotar y nosotros salvarnos. Claro que si nos despistamos y se nos vuelve a colar el agua de nuevo ¡glub, glub!, de nuevo nos iríamos al fondo, ¿a que sí?.

Arquímedes: Parece que por fin empiezas a entender. Pero dime antes de irnos: **¿en el aire, qué pesa más un cuerpo de hierro de masa 1 kilo o un cuerpo de corcho de masa 1 kilo?.**

Filáfanos: ¡ Qué pregunta más tonta! Pues lo mismo, los dos son 1 kilo porque ahora no estamos en el agua.

Arquímedes: Pues no. Al final no te has enterado de nada, y al igual que un día se navegará bajo el agua, también se volará por los aires, gracias a nuestra conversación. Y tú, mi paciente lector de hoy en día, ¿sabrías por qué no?

Es curioso cómo pensaban estos griegos, que llegaban a verdaderas conclusiones sin hacer una sola cuenta y nosotros sin un ordenador que nos haga el trabajo, ya no sabemos trabajar, y la mayoría de las veces, ni pensar.

Antonio VEGA SÁNCHEZ
e-mail: vegasanchez2000@yahoo.es

Miguel A. BENJUMEA PULIDO
e-mail: griego@hotmail.com

Los dibujos de las ilustraciones se deben a Justo GUERRERO SANZ

MARCHENA, FEBRERO 2003