

# ENTREVISTA IMPOSIBLE A LUDWIG BOLTZMANN

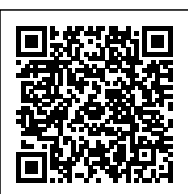
*Posted on 27 febrero, 2019 by Franco Bagnoli*



Buenos días a todos los oyentes. También para mí es un placer estar en compañía, pero, hubiera preferido arreglar la cita en un buen restaurante. ¡Aquí en la Toscana hay ciertamente buena comida y buen vino!

**Category:** [Ciencia](#)

**Tag:** [Ciencias Exactas](#)





**FB (Franco Bagnoli):** Buenos días profesor Boltzmann, ¡Qué placer tenerle aquí con nosotros!

**B (Boltzmann):** Buenos días a todos los oyentes. También para mí es un placer estar en su compañía, aunque hubiera preferido tener la cita en un buen restaurante. Aquí en la Toscana hay ciertamente buena comida y buen vino.

**FB:** Después de la entrevista vamos a cenar juntos. Pero primero tenemos que hablar un poco sobre usted. ¿Quiere decirnos cuándo vivió y qué hizo en vida?

**B:** De buena gana. Nací en Viena el 20 de febrero de 1844, la noche entre el martes gordo (final del carnaval) y el miércoles de cenizas (comienzo de la Cuaresma), lo que explica porqué siempre tuve un estado de ánimo bipolar. Seguí una carrera bastante lineal, fui profesor de matemáticas y física.

Debo decir que siempre he sido bastante dotado en el campo matemático y también estoy bastante fascinado por las potencialidades deductivas del tratamiento analítico, tanto como para haber sido llamado el "terrorista algebraico". Qué exageración. Es cierto que mi memoria para los números suele ser muy confiable, pero siempre tengo problemas para contar los vasos de cerveza que bebo.

**FB:** Supongo que sus resultados no son fácilmente comprensibles para nuestra audiencia...

**B:** Lejos de ello. Son ciertamente difíciles pero no incomprensibles. El tema principal que estudié es sobre cómo nace la irreversibilidad del universo.

**FB:** Eso parece ser un tema muy importante...

**B:** ¡Lo es! Como ustedes saben, todas las leyes microscópicas de la mecánica clásica son reversibles con el tiempo. Tomemos como ejemplo un gas, asumiendo que esté compuesto de pequeñas balas que golpean elásticamente, de acuerdo con las leyes de la mecánica. Tomamos una configuración inicial de las partículas y sus velocidades. Al aplicar las leyes de Newton, podemos calcular su posición y velocidad después de un cierto período de tiempo. Si en este punto volteamos todas sus velocidades y hacemos que el sistema evolucione durante un intervalo de tiempo igual al anterior, volveríamos a la configuración inicial.

**FB:** ¿Cómo ver una película proyectada primero en el sentido correcto y luego a la inversa?

**B:** Exactamente. Veo que me está siguiendo. Ahora, el resultado descrito anteriormente también ocurre si uso partículas distintas de las esferas, y si interactúan con cualquier fuerza. Esto se debe a que precisamente las leyes del movimiento son reversibles con el tiempo. Pero el mundo tal como lo conocemos no funciona así: los platos que caen de la mesa se quedan rotos y nunca los vemos volver a juntar los fragmentos. El humo de una estufa se pierde, y nunca se ve regresando a la estufa componiendo un tronco de madera. Las estrellas y las personas nacen, envejecen y mueren.

**FB:** Es la segunda ley de la termodinámica que nos da la dirección del tiempo...

**B:** En efecto. La segunda ley de la termodinámica nos dice que la entropía, en un sistema cerrado y aislado, siempre aumenta, o sea que el mundo no es reversible. Un día me pregunté: ¿es posible derivar esta ley termodinámica de las leyes de la mecánica?

**FB:** ¿Y respondió su pregunta?

**B:** Sí y no. Derivé una ecuación, que luego tomó mi nombre, que determina la evolución de la probabilidad de encontrar las partículas de un gas en un lugar determinado y con una cierta velocidad. La ecuación es difícil de escribir, pero no tanto para explicarla. Dice que la probabilidad de encontrar una partícula en un lugar determinado con una cierta velocidad y en un momento determinado depende de varios factores: hay que contar cuántas partículas pueden llegar allí sin chocar, menos las que chocan y luego toman otra velocidad, más las que chocan y adquieren la velocidad deseada. Hacer cálculos en un caso práctico es muy difícil, pero podemos derivar un

teorema que dice que hay una cantidad, equivalente a la entropía, que en promedio siempre aumenta con el tiempo. Pensé que había resuelto el problema.

**FB:** ¿Y qué pasó?

**B:** Sufrí muchos ataques, que al final, siendo cómplices mis enfermedades, la muerte de mi hijo y mi personaje bipolar, me llevaron al suicidio en 1905. El primer ataque provino de la banda de los "energéticos", Mach y Ostwald en particular, que estaban enojados conmigo porque yo había usado el concepto del átomo para hacer mis modelos, mientras ellos pensaban que eso era una construcción mental no demostrable y no querían que se usara. Mire, me han llamado "el hombre que creía en los átomos". Pero de todos modos sus críticas eran esencialmente filosóficas, y por lo tanto no muy importantes, como el idealismo. En cambio, siempre me he definido materialista. El idealismo afirma que sólo el "yo" y sus diversas ideas existen, tratando de explicar el asunto a partir de éstas. El materialismo parte de la existencia de la materia y trata de explicar las sensaciones a partir de esto.

**FB:** ¿Cuáles fueron las críticas más serias?

**B:** Básicamente hubo dos, las de Loschmidt y Zermelo, dos profesores de física, uno austriaco (mi colega en Viena) y el otro alemán de Friburgo. La crítica de Loschmidt, también compartida por Kelvin, se basó en el teorema de recurrencia de Poincaré. Este gran matemático francés había demostrado que un sistema clásico siempre regresa cerca del estado inicial. El asunto es mucho más claro si pensamos que podemos aproximar un sistema dinámico con un sistema discreto, en el que las posiciones y las velocidades sólo pueden asumir valores numerables. Dado que la cantidad de configuraciones posibles es finita, tarde o temprano el sistema volverá a una configuración ya visitada y, dado que es determinista, no podrá evitar volver a recorrer el primer ciclo. Entonces no puede haber ninguna cantidad, como la entropía, que siempre aumenta.



**FB:** Parece una objeción grave.

**B:** Tal vez, aunque un sistema físico está compuesto de muchas partículas, y el espacio de configuraciones es inmenso. Si hacemos los cálculos, vemos que el tiempo promedio para volver a un estado cercano al inicial es mucho, mucho más grande que el tiempo transcurrido desde el nacimiento del universo. Digamos que podemos estar satisfechos si la entropía aumenta por un tiempo limitado.

**FB:** ¿Y la objeción de Zermelo?



**B:** Zermelo demostró que el problema del movimiento puede formularse con un formalismo similar al de la dinámica de fluidos. Pensemos en un conjunto de configuraciones iniciales muy similares, por ejemplo, con todo el gas encerrado en un espacio pequeño. Podemos asignar a cada configuración posible un punto en un espacio especial llamado espacio de fase. Considere el conjunto de configuraciones iniciales "cerradas", como si fuera inicialmente una pequeña esfera en este espacio. Durante la evolución de los diversos sistemas, esta esfera inicial se propagará, como si fuera una gota de tinta en el agua. Pero como los átomos de tinta no se destruyen ni se crean, el número de puntos no cambiará, ya que la evolución es determinista y reversible y, por lo tanto, dos puntos no pueden "fusionarse" ni un punto puede "dividirse". Dado que se puede demostrar que la entropía está relacionada con la cantidad de puntos, obtenemos que la entropía no cambia con el tiempo.

**FB:** ¡Pero la entropía aumenta!

**B:** Debería haber esperado a Gibbs, quien resolvió el problema poco después de mi suicidio. El hecho es que no hay una precisión infinita en las mediciones físicas, sin considerar la indeterminación cuántica. Entonces, de hecho, los "puntos" que están cerca en el espacio de fase no se pueden distinguir, y si se inserta este ingrediente, se obtiene el aumento de la entropía. Es decir, la entropía refleja nuestra ignorancia del estado inicial, ignorancia que se "extiende" en el espacio de fase. Gibbs llegó demasiado tarde para mí.

Me consuelo con el hecho de que al final me dieron esencialmente la razón, y que en mi tumba está grabado mi fórmula  $S = k \log(W)$ , que conecta la entropía  $S$  al volumen en el espacio de las fases  $W$ .

**FB:** Un verdadero misterio científico. ¡Diría que se mereció una invitación a cenar!

**B:** Ya sabes, como dije en el resumen de mi viaje a América en 1899, "El viaje de un profesor alemán a El dorado", siempre tenemos que cuidar nuestro cuerpo con comidas regulares, buenas y abundantes, regadas con buen vino, régimen que no es fácil seguir en América.

**FB:** ¿No le gustó la comida americana?

**B:** La comida siempre es una aventura, pero el principal problema fue la fobia al alcohol de los americanos. Recuerdo la invitación a un almuerzo de la Sra. Phoebe Hearst, una gran mujer, feminista y benefactora de la Universidad de Berkeley, donde de hecho hay mujeres y hombres en igual número entre los estudiantes. Para empezar, me hablaron del arquitecto de haciendas de la señora Hearst, Schweinfurt, que bebió vino hasta su muerte. Dado que no pienso dejar de beber, incluso se puede decir lo mismo de mí.

En la cena, el almuerzo comenzó con moras, que rechacé, y melón, salado personalmente por la señora Hearst, que también rechacé. Después de eso, vino la harina de avena, que intenté rechazar, pero tuve que tragarla bajo la severa mirada de la dueña. No sé si conocen este plato americano. En Viena sólo se podía usar para engordar los gansos, aunque dudo que un ganso vienés quisiera probarlo. Afortunadamente, llegaron otras cosas más comestibles, pero aún sin vino, como fue el caso de todas las comidas en Berkeley.



Al final, sin embargo, un colega me reveló, mirando alrededor por temor a ser descubierto, dónde se podía comprar vino en Oakland y así mi estancia en California se hizo mucho más placentera.

**FB:** Una historia fascinante.

**B:** Podría continuar durante horas, pero me parece que es hora de cenar.

**FB:** Tiene razón. Saludemos a nuestros oyentes y dirijámonos al restaurante más cercano.

**B:** Auf wiedersehen! C<sup>2</sup>