

¿Qué es la realidad?

Gemma De las Cuevas

☞ *Este artículo se ha publicado en La Maleta de Portbou, número 51, Abril-Marzo 2022* ☞

¿Qué es la realidad? Qué pregunta tan importante, y a la vez, qué difícil. Es muy curioso: como más básicas son las preguntas, más difíciles son de responder. ¿Qué es la vida? ¿Qué es una mesa? ¿Qué es circular? ¿Cómo pasa el tiempo? ¿Qué es una persona? ¿Qué es posible? La metafísica intenta responder estas preguntas, mientras que la física intenta responder alguna versión humilde de ¿Qué es la realidad? En matemáticas, ¿Qué es un conjunto? es una pregunta muy básica, y sin embargo difícil de responder, ya que la definición natural de conjunto es problemática a causa de la autoreferencia y negación, como veremos abajo. La teoría de conjuntos está en la base de todas las matemáticas, y casi todo el mundo hace matemáticas intentando “olvidar” estos problemas fundamentales. De forma similar, llevo muchos años trabajando con la física, pero debo responder a ¿Qué es la realidad? con un “no lo sé”. Sé que la realidad no solo es más rara de lo que imaginábamos, sino más rara de lo que podíamos imaginar. Me gustaría ilustrar esta idea con un ejemplo magnífico: la física cuántica.

Según la física cuántica, las propiedades físicas de los objetos (como su posición o color) no están bien determinadas, sino que pueden estar en una superposición de distintos valores. Esta superposición se destruye cuando la propiedad es medida, y por eso solo observamos propiedades bien determinadas—un color, una posición, una velocidad... Superposición significa algo como "mezcla", pero es una mezcla especial, que desafortunadamente solo puedo definir matemáticamente (en parte porque no entiendo la física cuántica). Imaginen un calcetín cuyo color es cuántico, de forma que puede estar en una superposición de rosa y azul. Cuando se mide el color este queda determinado de golpe, y observamos, por ejemplo, el azul. Si volviéramos a preparar la misma superposición, observaríamos, quizás, el rosa. La cuántica predice la probabilidad de obtener cada resultado si conocemos la superposición inicial de azul y rosa.

Como ven, el proceso de la medida por el que la superposición “colapsa” de golpe es muy extraño, y de hecho es problemático.

El principio de superposición también se aplica a sistemas compuestos, y da lugar al entrelazamiento. Por ejemplo, si tenemos un par de calcetines de color cuántico (rosa o azul), estos pueden

estar en una superposición en la que ambos son rosas o ambos azules. Esto es aún más raro, porque yo podría separar estos dos calcetines, dejando uno en el Palau Macaya, en Barcelona, y mandando el otro a Júpiter. Si midiera el calcetín del Palau Macaya y obtuviera azul, sabría inmediatamente que el calcetín de Júpiter es azul. Es decir, habría aprendido una propiedad de un objeto de Júpiter (el color del calcetín) sin que ninguna señal viajara de Júpiter a la Tierra.

Si esto les parece una locura, y no se lo quieren creer, no son las primeras. Muchas pensadoras no lo han querido aceptar. Einstein, Podolsky y Rosen, por ejemplo, pensaron: seguro que nos estamos olvidando de algo, alguna variable oculta que, al ser incluida en nuestra descripción, convertiría la misteriosa superposición en una mera mezcla de ingredientes. Esta mezcla describiría tu falta de conocimiento, no una propiedad fundamental del sistema físico: los calcetines serían rosas o azules, pero tú no sabrías el color—solo sabrías que con una cierta probabilidad son rosas, y con otra azules. Esta mezcla no tiene nada de misteriosa, pues es como si ustedes trataran de adivinar de qué color son los calcetines que llevo puestos hoy. Solo tengo rosas y azules, y me pongo los rosas la mitad de los días, y los azules la otra mitad. Además siempre los llevo emparejados. Si miran mi calcetín izquierdo y es azul, inmediatamente saben que mi calcetín derecho es azul, sin que ninguna señal viaje desde mi pie derecho a usted. Esto también valdría si yo tuviera unas piernas fantásticas tales que mi pie izquierdo estuviera en el Palau Macaya y mi pie derecho en Júpiter. Fíjense que aquí no hay nada misterioso: el color de mis calcetines está bien determinado, el único problema es que ustedes no saben el color. Las variables ocultas nos permitirían convertir la superposición en esta mezcla, y así quitarle el misterio a la cuántica.

En los años 1960 Bell transformó esta discusión en una predicción falsificable: demostró que si se trataba de una mera mezcla una cierta cantidad valdría como máximo 2, mientras que si era una superposición esta cantidad podía valer más que dos. Esta cantidad se midió en el laboratorio y ¡resultó ser más que 2! Se han hecho muchísimos experimentos desde entonces, cada vez más precisos, descartando escenarios paranoicos como que las variables ocultas se puedan comunicar entre ellas, o que los detectores estén trucados para manipular el resultado, y la conclusión es: esta cantidad es más que 2. Por lo tanto las variables ocultas no pueden explicar las observaciones de la cuántica. Esta historia tan increíble de las superposiciones, y de la cuántica es “verdad”, o al menos es nuestra verdad actual.

Las predicciones de la física cuántica están siendo increíblemente exitosas: han pasado todos los tests experimentales en física de altas energías, en física química, y ahora se están desarrollando prototipos de ordenadores cuánticos y simuladores cuánticos experimentales. Sin embargo, la pregunta más fundamental permanece abierta ¿Qué es una superposición? Hacemos cuántica (teórica y experimental) en nuestra vida diaria estando en desacuerdo en si vivimos en un universo o en un multiverso. Me parece un desacuerdo colosal—podemos estar en desacuerdo en cómo organizar nuestra sociedad, si nos gusta más el capitalismo o el comunismo, en cuestiones de ética,

en cuándo vamos a contactar con vida en otras planetas... ¡Pero no saber si hay infinitas copias de mí misma en universos paralelos, o solo una! ¿Cómo podemos vivir con esta incertidumbre? Es urgente averiguar este aspecto tan importante de la realidad.

Otra característica fascinante de la realidad física es el poder de la abstracción: muchos aspectos de la realidad física se pueden describir de forma maravillosa con modelos matemáticos relativamente sencillos (esto vale en mucha menor medida para la biología, donde las cosas son demasiado complicadas). ¿Por qué? No lo sé. Tampoco entiendo la parte metafísica de esta pregunta: Estas abstracciones ¿existen en algún sitio? Claramente no existen en el mundo físico, pues no hay ningún círculo cuyo perímetro entre su diámetro sea el número π . Si definimos el número tres como la clase de equivalencia de todas las cosas de las que hay tres (tres naranjas, tres coches, tres personas, tres planetas, tres ideas), ¿existe el número tres en algún sitio? De nuevo encontramos que como más básicas, más difíciles son las preguntas.

Estas pinceladas sobre la cuántica y la física me permiten presentarles una idea un tanto poética: *para mí, la realidad es un límite*. Para explicarles esta idea, primero tengo que compartir con ustedes qué es un límite desde el punto de vista matemático. Para lo cual primero tenemos que imaginar una secuencia.

Imaginen una secuencia que no termina nunca, es decir, que no tiene un último elemento—siempre hay un elemento siguiente. Es fácil de imaginar si cada elemento de la secuencia tiene una etiqueta que es un número natural: el primer elemento tiene la etiqueta 1, el segundo el 2, el tercero el 3, etc. Como siempre hay un siguiente número natural, la secuencia no termina nunca. Y como no hay último elemento, la cantidad de cosas nuevas que pueden surgir a lo largo de la secuencia no tiene cota superior.

La secuencia tiene un límite si se acerca tanto como queramos a algo, y este algo es el límite. Por ejemplo, la secuencia $1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, \dots$ tiene límite 0. Noten que no llega nunca a 0, pero se acerca arbitrariamente a 0. Noten también que el infinito solo se puede definir como un límite—por ejemplo, como el límite de la secuencia $1, 2, 3, 4, 5, \dots$. El infinito, pues, no es un número increíblemente grande, es un límite. Un googol, 10^{100} , está infinitamente lejos del infinito, así como cualquier otro número ridículamente grande.

Un hecho fundamental es que no se puede acceder al límite a partir de un número finito de casos. Solo se podría invocando una hipótesis sobre la secuencia entera, pero el comportamiento de la secuencia entera es justamente el problema que se intenta resolver. Este es, en esencia, el problema de la inducción. Solo si la secuencia es muy dócil (por ejemplo, es muy fácil describir sus elementos) se puede acceder al límite. El límite es, en general, inalcanzable, inaccesible.

Bien, la idea es que *para mí, la realidad es un límite*: algo que siempre ofrece nuevas sorpresas, nuevos paisajes, nuevos regímenes de energía, nueva física, nuevas posibilidades. Este mensaje

puede parecer pesimista, ya que implica que la realidad es inalcanzable, pues nosotras somos finitas. Pero para mí es todo lo contrario: es un mensaje lleno de esperanza, ya que implica que lo que se puede descubrir no tiene techo. Es un mensaje que nos llena de humildad, pero también de poder: del poder transformador del conocimiento. En las palabras de David Deutsch, estamos al principio del infinito, y siempre lo estaremos. Comparen lo que sabemos ahora con lo que sabíamos hace 100 años, y ahora imaginen lo que sabremos dentro de 100 o 1000 años (si aún existimos). Si ahora estamos al principio del infinito, dentro de 100 años también lo estaremos, y dentro de 1000 también—al infinito no se llega.

Que la realidad es un límite es mi forma de expresar que no creo que se pueda alcanzar la realidad. No creo ni que nos podamos imaginar la cantidad de posibilidades que nos ofrece. Sabemos muchísimo de ella, pero estamos al principio del infinito. En las palabras de Popper, nuestro conocimiento solo puede ser finito, mientras que nuestra ignorancia es necesariamente infinita.

Noten que la definición matemática de límite es casi opuesta al uso habitual de la palabra límite, que significa algo así como “limitación”—como en “el límite de mis fuerzas”, o “los límites de mi lenguaje son los límites de mi mundo”. Cuando digo que *para mí, la realidad es un límite* uso la acepción matemática, por la cual hay una secuencia infinita que está intentando alcanzar este límite, la realidad. Se puede entender como una secuencia de teorías físicas, cada cual mejor a la anterior, o se puede entender más ampliamente, como una secuencia de conocimiento científico, que aumenta cada día con nuevas publicaciones, o incluso como una secuencia de conocimiento filosófico, que aumenta rápidamente, o incluso una secuencia artística, que contenga distintos enfoques a la pregunta ¿Qué es la realidad? De hecho, cualquier herramienta que nos sirva para abordar esta pregunta es válida. (Excepto la religión, que da lugar a una secuencia finita y muy corta, sin recorrido—en este caso, no estamos al principio del infinito, ya que tenemos un claro techo de lo que se puede conocer). Es más: creo que una pregunta tan fundamental y fascinante como ¿Qué es la realidad? solo se puede abordar desde la multiplicidad de miradas y métodos: Para acercarnos a las maravillas de la realidad debemos emplear la ciencia, el arte y la filosofía.

Me gustaría terminar con una paradoja, que a priori pone límites (en el uso habitual de la palabra) a lo que podemos aprender y formalizar. Por eso pienso que entender el alcance de esta paradoja es importante para avanzar en nuestro viaje hacia ese límite (en el sentido matemático) que es la realidad.

Se trata de la paradoja de la mentirosa: Si digo “Soy una mentirosa” y tienen que decidir si estoy mintiendo o no, llegarán a la conclusión que miento si y solo si no miento. Es una contradicción. Normalmente no aceptamos las contradicciones, y concluimos que no podemos decidir si “Soy una mentirosa” es verdad o mentira—es indecidible.

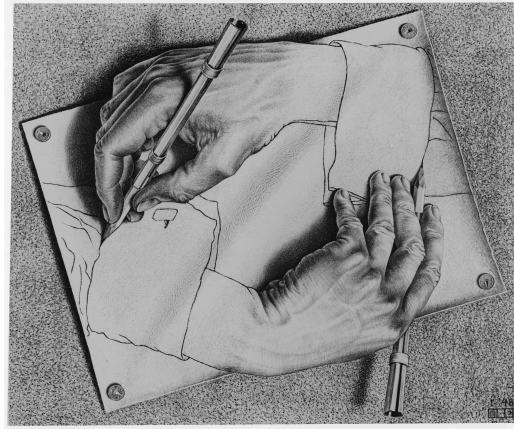


Figura 1: Las manos que se dibujan una a la otra, de M. C. Escher.

La paradoja de la mentirosa es muy versátil, ya que se puede formular en muchos ámbitos. En matemáticas, la fórmula que dice “Yo no soy demostrable” está en el corazón del famoso teorema de Gödel, que tiene consecuencias muy profundas acerca de lo que no se puede demostrar. En informática, ningún programa puede decidir si otro programa parará en un input, o se encallará en un bucle eterno—este es el famoso problema de halting—, justamente porque si este programa existiera, se podría citar y negar a sí mismo, y concluiríamos que para si y solo si no para. Para evitar esta contradicción se concluye que el programa inicial no puede existir, y que por tanto el problema de halting no es computable. Este no es un problema aislado, sino todo lo contrario: la gran mayoría de funciones (de hecho esencialmente todas las funciones) no son computables. En teoría de conjuntos, el conjunto de los conjuntos que no se contienen a sí mismos es problemático, porque se contiene a sí mismo si y solo si no se contiene a sí mismo—esta es la paradoja de Bertrand Russell. Esto implica que el concepto de conjunto está mal definido, como decía al principio, cosa sorprendente y preocupante, ya que la teoría de conjuntos está en la base de las matemáticas. En epistemología, “esta frase no se puede conocer”, etc, etc—como ven, la paradoja de la mentirosa tiene muchas reencarnaciones. Todo sistema que pueda expresar autorreferencia y negación es víctima de las consecuencias de la paradoja de la mentirosa. Y expresar autorreferencia y negación no es mucho pedir—casi todos los sistemas no triviales son capaces de ello.

Un ejemplo gráfico de una paradoja son las manos de M. C. Escher que se dibujan una a otra (Fig. 1). Esta paradoja se resuelve porque nosotras estamos fuera del dibujo. La paradoja de la mentirosa es como estar atrapada dentro del dibujo. La contradicción se “resuelve” habitualmente postulando que ciertas cosas no pueden existir—como una mano que dibuja a otra, que dibuja a la primera.

Además, la paradoja de la mentirosa no se puede resolver fácilmente. Por ejemplo, si se impone que la frase “Soy una mentirosa” es verdad, se puede formular una nueva frase tal que es verdad si



Figura 2: Mastroianni en 8 1/2 de Fellini.

y solo si es mentira. La paradoja solo se puede resolver en un límite (en el sentido matemático), normalmente a base de construir una jerarquía tal que cada nivel solo pueda hacer referencia al nivel anterior, y así se evita la autorreferencia. Para recuperar la expresividad del sistema original, hace falta tomar el límite de infinitos niveles. E infinito no es un concepto físico, es un concepto matemático, como hemos visto arriba. Por lo tanto no encuentro esta solución satisfactoria.

Es muy curioso que nuestra mente puede comprender la paradoja de la mentirosa sin problema—ustedes mismas han entendido el texto anterior, y ustedes existen :) Piensen en la película 8 1/2 de Federico Fellini, donde Marcello Mastroianni (Fig. 2) hace un ejercicio constante de autorreferencia—entra y sale de la propia película, hace castings de personajes que aparecen como actrices y actores en la misma película. ¿Por qué la mente, y el arte, pueden hacer autorreferencia y comprender la paradoja? Esencialmente porque cuando digo que soy una mentirosa y analizo si es verdad o no, me refiero a la Gemma de hace dos segundos, que no es la misma que la Gemma de ahora mismo. Por tanto extendiendo la paradoja en el tiempo. Además puedo salir del bucle “miento”—“no miento”—“miento”—“no miento” gracias a estímulos externos. En resumen, el sistema formal tiene una limitación que nuestra mente, y el arte, no tienen.

Mientras que la paradoja de la mentirosa está muy presente en matemáticas e informática, su importancia en la física ha sido históricamente descuidada. Uno de los objetivos de [nuestro grupo de investigación](#) es entender la importancia de la indecidibilidad en la física, así como la de la universalidad, que veo como su otra cara de la moneda. Pienso que ambas son piezas importantes en el avance hacia aquello inalcanzable que llamamos realidad—o al menos importantes ahora, o al menos pienso que ahora merece la pena investigarlas. También pienso que estos conceptos son tan

maravillosos y de largo alcance que deberían ser explorados juntamente con el arte y la filosofía. (Estoy escribiendo un libro titulado “Las cremalleras de la realidad” que es un viaje a través de la física, la filosofía y la poesía.)

Volviendo al inicio, no sé qué es la realidad, pero sé que participar en esta discusión y contribuir a La Maleta de Portbou es un sueño hecho realidad—sin comprometerme a una noción de realidad.