

*Conferencia pronunciada durante el Congreso Anual de la Asociación Nacional de Profesores de Ciencia de los Estados Unidos, 1966\**

## ¿Qué es la Ciencia?

RICHARD FEYNMAN

**Q**uisiera agradecer al Sr. De Rose la invitación para asistir a su congreso de profesores de ciencia. Yo mismo enseño ciencia, y mi experiencia, que se limita a la enseñanza de la Física a estudiantes universitarios, me basta para saber que no sé cómo enseñar.

Pero estoy seguro que ustedes tampoco lo saben; los verdaderos maestros que trabajan en la base de esta jerarquía de profesores, consejeros pedagógicos y demás expertos, tampoco saben cómo hacerlo; de otra forma no se encontrarían aquí.

No fui yo quien escogió el tema de esta conferencia: ¿Qué es la ciencia?, fue el Sr. De Rose. Quisiera aclarar que para mí la pregunta: ¿Qué es la ciencia?, no es equivalente a la de: ¿Cómo enseñar la ciencia? Y lo quiero aclarar por dos razones: primero porque en vista de la forma en que comencé esta conferencia, se podría creer que me dispongo a decirles cómo enseñar la ciencia, que no es el caso, ya que ignoro todo sobre los niños. Ya he tenido uno, y por lo tanto yo sé que no sé nada. En segundo, porque pienso que hay tanto en esta área, tantos expertos, coloquios y artículos, que la mayoría de ustedes deben padecer de alguna manera u otra, una cierta falta de seguridad. No cesan de reprenderlos, de repetirles que así no es como se enseña, que hay que hacerlo de otra forma. No es mi intención sermonearlos una vez más, ni decirles que ustedes hacen mal su trabajo o cómo mejorarlo.

De hecho, nosotros constatamos en Caltech que los estudiantes que nos llegan son muy buenos, mejores año con año. ¿A qué se debe? No lo sé. Quizás lo saben ustedes. Yo no quiero modificar en nada el sistema de enseñanza, funciona muy bien.

\* Tomado de "La nature de la physique", 1980. Título original en inglés: *What is science?* Richard Feynman, 1966. Traducción al francés: *Le Seuil*, 1966. Traducción del francés al español: César Carrillo T., 1988.



Hace apenas dos días que en nuestra universidad, durante una reunión de comisión, hemos decidido que ya no es necesario enseñar la mecánica cuántica a nivel de maestría. Sin embargo, cuando yo era estudiante de maestría, no teníamos ningún curso de mecánica cuántica; era considerado muy difícil. La mecánica cuántica fue introducida como materia en la maestría en la época que yo empezaba a enseñar.

Ahora ésta se enseña desde la licenciatura, y podemos comprobar que los estudiantes que vienen de otras universidades tampoco necesitan aprender mecánica cuántica elemental. ¿Por qué? Porque los estudiantes están mejor preparados que antes, lo cual nos permite realizar una mejor enseñanza en las universidades.

¿Qué es la ciencia? Todos ustedes saben lo que es; es evidente puesto que la enseñan. ¿Qué más puedo decirles? De hecho, si ustedes lo ignoran, consulten el prefacio del primer manual que tengan a la mano; todos contienen una explicación completa sobre la cuestión. Ahí encontrarán la quinta esencia diluída y deformada de las ideas de Francis Bacon; ideas que en la época, es decir, hace varios siglos, pasaban por el *nec plus ultra* de la filosofía de la ciencia. Sin embargo, uno de los más grandes experimentadores de la época, William Harvey, decía que la ciencia vista por Bacon no era más que la ciencia del ministro que éste era. Pues Bacon, quien hablaba sin cesar de las observaciones que había que hacer, olvidaba una sola cosa, a pesar de ser ésta esencial: la necesidad de elaborar primero un juicio sobre lo que vale o no la pena de ser observado, sobre aquello a lo que hay que prestar atención.

La ciencia no es por lo tanto lo que los filósofos han dicho y menos lo que dicen los manuales. ¿Qué es entonces? Esta pregunta realmente me la he hecho después de haber estado de acuerdo con el título de la conferencia propuesto por el Sr. De Rose. Entonces me vino a la memoria un poema:

Un cienpiés vivía feliz,  
hasta que un sapo bromista le preguntó:  
Dime, ¿nunca te equivocas de pata cuando caminas?  
Asaltado por la duda, el cienpiés cayó en un agujero,  
pues ya no sabía cómo caminar.

Yo he hecho ciencia toda mi vida, sabiendo perfectamente lo que era. Pero para decirles cómo poner un pie delante del otro —por lo que se supone que estoy aquí— me siento incapaz. Es más, la comparación con el cienpiés me inquieta; tengo miedo que al regresar a casa no pueda investigar más.

Muchos periodistas me han pedido por adelantado un resumen de esta conferencia, pero como la preparé en el último momento, me fue imposible hacerlo. Ya los veo precipitarse hacia las oficinas de redacción para anunciar con grades letras el encabezado: "El profesor Feynman dijo al presidente de la Asociación de Profesores de Ciencia: ¡Usted no es más que un sapo bromista!".

En vista de la dificultad del tema y de mi escaso gusto por las explicaciones filosóficas, voy a tratar la cuestión de un modo poco habitual. Voy a decirles cómo aprendí lo que es la ciencia.

Lo aprendí cuando era niño; siempre lo he tenido en la sangre y quisiera decirles como sucedió. No vayan a creer que me preparo a decirles como enseñar; en ningún momento ha sido esta mi intención. Solamente quiero explicarles lo que es la ciencia contándoles como la aprendí.

De hecho, todo lo debo a mi padre. Cuando me encontraba en el vientre de mi madre, mi padre dijo un día: "Si es niño, se dedicará a la ciencia" (al menos es lo que cuenta la leyenda, pues yo no me encontraba en posibilidades de escuchar la



Tomado de: Lewis Carroll

conversación). ¿Cómo hizo para llevarlo a cabo? Nunca me dijo que yo tenía que dedicarme a la ciencia. El mismo no era científico, se dedicaba a los negocios; era director de ventas de una empresa que fabricaba uniformes. Pero había leído cosas sobre la ciencia que le apasionaban.

La primera historia que se refiere a mí, data de cuando era muy pequeño: todavía comía en una silla alta. Después de la comida mi padre jugaba conmigo. Había traído de no sé qué parte de Long Island City, una pila de viejos mosaicos para baño; los colocábamos como si fueran naipes, extremo con extremo uno detrás del otro, y luego me dejaba empujar uno de los extremos para ver caer toda la fila.

Hasta aquí, nada había de extraordinario. Pero más tarde el juego se volvió un poco más complejo. Los mosaicos eran de colores diferentes y yo tenía que colocarlos en orden: un blanco, dos azules, un blanco, dos azules, etc. Si por casualidad me daban ganas de colocar tres azules seguidos, mi padre me hacía poner uno blanco. Como podrán ver, se trata de la vieja astucia de siempre: se empieza por divertir a los niños y luego se les pasa bajo el agua una dosis de materia educativa.

Este engaño no escapaba en todo caso a mi madre, quien era más sentimental que mi padre. "Mí, decía ella —idéjale poner un mosaico blanco si tiene ganas! No, quiero que entienda que hay una estructura. Son las únicas matemáticas que puedo lograr que haga a esta edad". Si el tema de mi conferencia hubiese sido "¿Qué son las matemáticas?", les habría respondido: las matemáticas son la búsqueda de estructuras. Por cierto, la educación de mi padre dió sus frutos: de ello tuvimos la prueba experimental directa cuando entré al jardín de niños. En aquel entonces hacíamos tejido; actualmente han suprimido todo eso, so pretexto que es demasiado difícil. Tejíamos con bandas de papel de color, las cuales pasábamos a través de tramas verticales, lo que

nos permitía construir motivos. La maestra se quedó tan impresionada de mis capacidades, que escribió a mis padres para decirles que yo era un niño extraordinario, pues daba la impresión de prever con anticipación los motivos que iba a hacer; motivos que además eran bastante complicados. Total, que el juego con los mosaicos no había sido inútil.

Quisiera darles otra prueba de que las matemáticas no son más que una cuestión de estructuras. Cuando estuve en la Universidad de Cornell, la población estudiantil me asombraba mucho; no veía más que una masa de tontos, estudiantes de economía doméstica, etc. (sobre todo mujeres), de donde emergían por aquí y por allá algunos individuos razonables. En la cafetería, mientras comía entre los estudiantes, escuchaba las conversaciones tratando en vano de detectar una mínima partícula de inteligencia.

Un día hice un descubrimiento extraordinario, o al menos así me pareció. Imaginen mi sorpresa. Una tarde me encontraba sentado al lado de dos muchachas y escuchaba su conversación. Una decía: "para hacer una línea recta, aumentas cada vez la misma cantidad. Ves, cuando aumentas lo mismo cada vez, te da una línea recta". Que bello principio de geometría analítica, me dije. Y a medida que avanzaba la conversación, me asombraba más y más. Pues nunca me había parecido que el cerebro femenino fuese capaz de comprender la geometría analítica.

Y continuaba: "Si tienes dos líneas que vienen cada una en un sentido, es sencillo saber cuándo se van a cruzar. Por ejemplo, si a la línea que va hacia la derecha le aumentas de uno en uno, y a la que va hacia la izquierda le aumentas de tres en tres, y si al principio había veinte puntos, etc. . . "¡Yo estaba boquiabierto; de veras, ella iba a encontrar la intersección! Hasta que me dí cuenta que se trataba de un tejido y que ellas estaban explicándose los dibujos de un suéter.

Aquel día aprendí una cosa: que el cerebro femenino es capaz de comprender la geometría analítica. Quienes pretenden —aunque esto esté en entredicho todos los días— que las mujeres son igualmente capaces de pensar racionalmente que los hombres, puede que no estén tan equivocados. Quizás nuestras dificultades se deben simplemente a que no hemos encontrado todavía la forma de comunicarnos con los cerebros femeninos. Pero cuando esto es posible, siempre hay algo que queda.

Bueno, regresémos a mis recuerdos de infancia sobre las matemáticas. Una de las primeras cosas que mi padre me

enseñó —por cierto no puedo decir exactamente como, ya que más bien me lo hizo sentir— es que la relación entre la longitud de la circunferencia y el diámetro es siempre la misma para todos los círculos, independientemente de su tamaño. En sí no me parecía tan asombroso; pero esta relación poseía propiedades maravillosas. Era un número asombroso, un número obscuro,  $\pi$ . Para mi espíritu infantil ese número se encontraba rodeado de un misterio que yo percibía mal, era una cosa absolutamente extraordinaria y me puse a buscar  $\pi$  por todas partes. Más tarde, en la escuela, aprendí a escribir fracciones en forma decimal. Y, escribiendo  $3 \frac{1}{8}$  bajo la forma 3.125 creí reconocer a mi viejo amigo  $\pi$ , la relación circunferencia sobre diámetro. Escribí entonces  $3.125 = \pi$ . La maestra me corrigió:  $\pi = 3.1416$ .

Les cuento todo esto para mostrarles lo que me ha formado. Lo que era importante para mí, más aún que el número, era la idea que éste se encontrara rodeado de cierto misterio, de un halo maravilloso. Más adelante empecé a hacer experimentos en mi laboratorio, —es decir, en lo que dentro de la casa yo llamaba mi laboratorio, donde hacía talacha— discúlpeme, no eran verdaderos experimentos, nunca los he hecho, nunca he hecho más que talacha; aparatos de radio, chácharas, ¡pura talacha! Fue entonces cuando poco a poco descubrí en los libros y los manuales que existían fórmulas de electricidad que daban la corriente en función de la resistencia, etc.

Y un buen día, en uno de esos manuales, me encontré con la fórmula que da la frecuencia propia de un circuito oscilante:  $f = 1/2\pi\sqrt{LC}$ , donde L es la inductancia del circuito y C su capacidad.

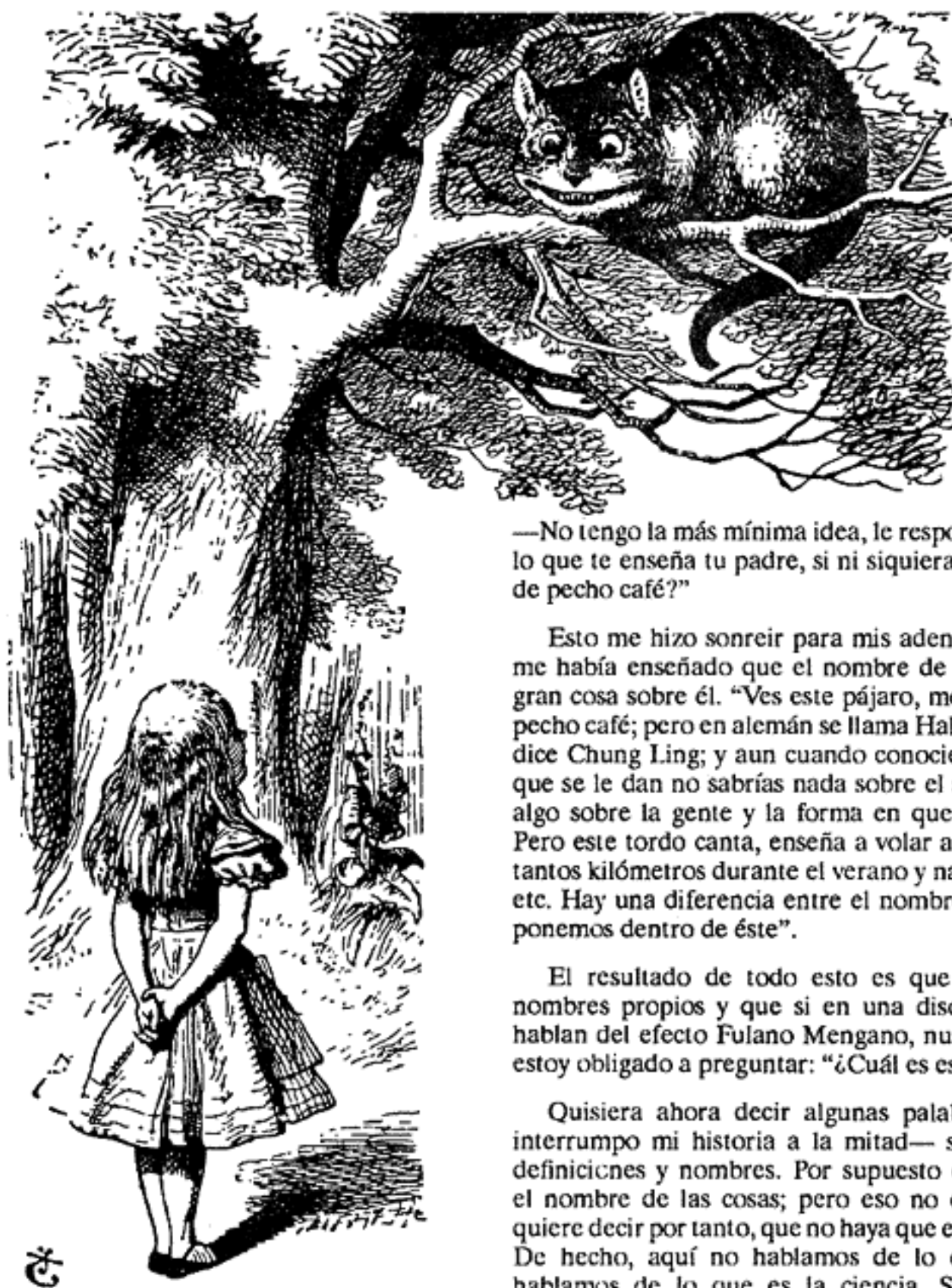
¿Pero  $\pi$ ? ¿De qué círculo se trataba? Ustedes pueden reír, pero yo lo tomaba muy en serio. Para mí  $\pi$  tenía que ver necesariamente con el círculo y ahí lo tenemos apareciendo en un circuito eléctrico. ¿De qué círculo se trataba? Los que se están riendo me podrían decir por qué interviene  $\pi$  aquí. . . Hay que reflexionar, me dije. Tengo que pensar. Tengo que dedicarme a la cuestión. Entonces me dí cuenta, por supuesto, que las bobinas eléctricas son en forma de círculo. Pero resulta que seis meses más tarde descubro, en otro libro, las fórmulas que dan la inductancia del devanado en sección cuadrada. ¡Y siempre con un  $\pi$ ! Después de haber reflexionado nuevamente, terminé por comprender que  $\pi$  no tenía nada que ver con la forma circular de las bobinas. Ahora comprendo mejor todas estas cuestiones, pero, en el fondo, no sé muy bien todavía de qué círculo se trata ni de dónde viene el  $\pi$ .

Cuando todavía era muy pequeño —no sé exactamente que edad podía tener— un día que jalaba un carrito con un balón adentro de él, me dí cuenta de algo extraño. Corrí hacia mi padre: "Cuando jalo el carrito el balón rueda hacia atrás, y cuando me paro bruscamente el balón se precipita hacia adelante. ¿Por qué?".

¿Qué responder a tal pregunta? Mi padre me dijo simplemente: "Nadie sabe por qué. Sin embargo es muy general y siempre pasa así y con cualquier gente. Una cosa que se mueve siempre tiene tendencia a continuar moviéndose, y una cosa que no se mueve tiene siempre tendencia a quedarse inmóvil. Si miras bien, verás que el balón no retrocede; no va hacia la parte trasera del carrito; él avanza también un poco pero no tan rápido como el carrito. La parte trasera del carrito alcanza al balón que no puede fácilmente ponerse en movimiento. Es lo que se llama el principio de inercia." Regresé entonces a mi carrito y verifiqué que efectivamente el balón no retrocedía. Mi padre me había hecho sentir la diferencia que hay entre lo que sabemos y la forma en que lo nombramos.

mado de: Lewis Carroll





—No tengo la más mínima idea, le respondí. Entonces, ¿qué es lo que te enseña tu padre, si ni siquiera sabes que es un tordo de pecho café?”

Esto me hizo sonreír para mis adentros, pues mi padre ya me había enseñado que el nombre de un pájaro no nos dice gran cosa sobre él. “Ves este pájaro, me decía, es un tordo de pecho café; pero en alemán se llama Halzenflugel, y en chino se dice Chung Ling; y aun cuando conocieras todos los nombres que se le dan no sabrías nada sobre el ave. A lo más, isabrías algo sobre la gente y la forma en que llaman a este pájaro! Pero este tordo canta, enseña a volar a sus pequeños, recorre tantos kilómetros durante el verano y nadie sabe cómo se guía, etc. Hay una diferencia entre el nombre de una cosa y lo que ponemos dentro de éste”.

El resultado de todo esto es que no logro retener los nombres propios y que si en una discusión sobre física me hablan del efecto Fulano Mengano, nunca sé de que se trata; estoy obligado a preguntar: “¿Cuál es ese efecto?”

Quisiera ahora decir algunas palabras —discúlpenme si interrumpo mi historia a la mitad— sobre esta cuestión de definiciones y nombres. Por supuesto que hay que aprender el nombre de las cosas; pero eso no es ciencia. Lo cual no quiere decir por tanto, que no haya que enseñar las definiciones. De hecho, aquí no hablamos de lo que hay que enseñar; hablamos de lo que es la ciencia. Saber convertir grados Fahrenheit a grados centígrados no es ciencia. Es útil, pero no es verdaderamente ciencia. Del mismo modo, si se tratase de arte, no diríamos que el arte es saber que un lápiz 3B es menos duro que un lápiz 2H. La diferencia es clara. Lo cual no quiere decir que un profesor de arte pueda evitar enseñar ese tipo de cosas, o que un artista pueda ahorrarse ese tipo de conocimiento. De hecho, la diferencia entre un lápiz 3B y un lápiz 2H es fácil de encontrar: basta con probarlos; pero ese es el tipo de procedimiento científico que los profesores de dibujo no siempre piensan que deben explicar.

Para comunicar necesitamos palabras. De acuerdo. Pero es bueno saber hacer la diferencia entre lo que es la enseñanza de las herramientas de la ciencia (por ejemplo las definiciones), y lo que es la enseñanza de la ciencia propiamente dicha. Para que me comprendan mejor voy a tomar ahora como ejemplo cierto manual de física, del cual voy a hablar mal. Lo cual no es justo pues, estoy seguro que se puede hablar igual de mal de cualquier otro manual.

En ese manual para uso del primer año de secundaria, desde la primera lección las cosas empiezan mal pues el autor parte de una falsa idea de lo que es la ciencia. Vemos una primera imagen que representa a un perro mecánico, uno de esos juguetes de resortes a los que hay que dar cuerda; enseguida vemos una mano sobre la llave de la cuerda y el perro empieza a caminar. Abajo está escrito: “¿Qué es lo que hace caminar al perro?” Un

Tomado de: Lewis Carroll

A propósito de nomenclatura, quisiera contarles otra historia. Mi familia pasaba sus vacaciones en la montaña, en los Catskill. La gente de Nueva York acostumbra pasar sus vacaciones en los Catskill. Los pobres esposos, después de trabajar toda la semana, se apresuran para alcanzar a su familia cada fin de semana. Durante el fin de semana mi padre me llevaba también de paseo y me enseñaba a observar la naturaleza. Los otros niños, mis amigos, hubiesen querido ir con nosotros y acosaban a mi padre para que los llevara. Pero él se negaba porque decía que yo estaba más adelantado que los otros. Para nada les estoy diciendo cómo llevar a cabo la enseñanza, ya que la clase de mi padre se reducía a un solo alumno, habiendo más de un alumno, ya no podía funcionar.

Así, los dos solos salíamos a pasear por el bosque. Pero en esta época las madres eran muy poderosas —todavía lo son, por cierto. Así que lograron también convencer a los otros padres de que era su deber llevar a sus propios hijos a pasear por el bosque. De tal forma que un domingo por la tarde todos los padres se fueron de paseo con sus hijos. Al otro día, por la mañana, mientras jugábamos en el campo, un niño me dijo: “Ves ese pájaro allá en el campo de trigo. ¿Sabes cómo se llama?”

poco más adelante, en otra imagen, vemos un perro de verdad con la misma pregunta: "¿Qué es lo que hace caminar al perro?" Luego vemos una moto con la misma frase: "¿Qué es lo que hace caminar a la moto?"

Al principio creí que se trataba de una introducción a diversas áreas de la ciencia: la física, la biología, la química. Pero nada. Pues la respuesta adecuada la encontré en el libro del maestro, anexo al manual: "Es la energía la que hace caminar al perro, a la moto, etc."

Pero la energía es un concepto extremadamente sutil, muy difícil de ser bien asimilado. Yo entiendo por esto que llegar a comprender suficientemente bien la idea de energía para poder utilizarla como se debe y sacar las deducciones correctas no es algo inmediato; esto rebasa ampliamente el nivel de lo de secundaria. Se hubiese podido decir igual de sencillo que lo que hace caminar al perro y a la moto es "Dios" o "la fuerza del espíritu" o "la tendencia al movimiento". De hecho, en lo que respecta a la energía podemos decir que es ella la que tanto detiene el movimiento como lo causa.

Adoptemos ahora un punto de vista distinto y digamos, al contrario, que se trata simplemente de la definición de la energía. Algo que se mueve tiene por definición, cierta energía; pero no es la energía la que lo hace moverse. El matiz es bastante sutil. Es igual para este asunto de inercia. Quizás podría hacerles percibir mejor la diferencia diciendo las cosas de otra forma.

Cuando uno hace la pregunta a un niño sobre lo que hace que se mueva un perro mecánico, hay que tener presente cual será la respuesta normal. Es decir, que el resorte ha sido tensado al darle cuerda y que se afloja moviendo los engranes del mecanismo. Sería una buena idea comenzar un curso así: tomamos un juguete, se enseña cómo camina, lo ingenioso del mecanismo. Se aprende entonces algo sobre el juguete, la forma en que está construido, sobre el ingenio de quienes concibieron los engranes... Bien, en suma, la pregunta planteada por el manual es buena. La respuesta es la que está mal dada, pues no es más que una definición de la energía que no nos enseña nada. Imagínense que un alumno diga: "Yo no creo que sea la energía la que hace moverse al perro". ¡Es imposible discutir con él!

Con el tiempo he llegado a encontrar algo que permite saber si lo que ha sido enseñado es una definición o un concepto. Basta con decir a los alumnos: "Sin utilizar la nueva palabra que acaban de aprender, repitan la misma cosa con su vocabulario habitual". "Por ejemplo: ¡Díganme lo que saben del movimiento del perro sin utilizar la palabra energía!" Imposible. Por lo tanto no han aprendido nada más que una definición, nada de ciencia. Por cierto, en algunas ocasiones esto carece de importancia; no siempre necesitamos aprender inmediatamente ciencia y hay que aprender también definiciones. Pero vamos, para una primera clase, ¿no existe el riesgo de que hayan efectos desastrosos?

Es muy malo, pienso, que la primera lección no aporte en respuesta a una pregunta más que una fórmula cabalística. El manual del que les hablo contiene otras fórmulas del mismo tipo: "Es la gravedad la que hace caer a los cuerpos" o "las suelas de los zapatos se gastan a causa del frotamiento". Si el cuero de los zapatos se gasta es porque las asperezas y las protuberancias de las banquetas atorán el cuero arrancando pedazos. Decir únicamente que es por el efecto del frotamiento no es ciencia y es un poco triste.

Mi padre también trató conmigo la cuestión de la energía,



Tomado de: Lewis Carroll

pero él no utilizó el término sino hasta que me dió una pequeña idea de lo que es. Yo sé lo que él habría hecho para hacerme comprender este ejemplo. Lo sé porque el caso se dió con otro ejemplo diferente. Me habría dicho: "Es porque el sol brilla que el perro camina". A lo que yo habría respondido: "Claro que no, ¡el sol no tiene nada que ver en esto! El perro camina porque le dá cuerda. —Sí amiguito, pero ¿qué te da la fuerza para que le des cuerda?— Lo que como. —¿Y qué comes?— No sé... espinacas. —¿Y qué hace que las espinacas crezcan?— El sol."

Lo mismo sucede con el perro. ¿Y la gasolina de la moto? Es energía solar acumulada, captada por las plantas y almacenada en el suelo. Podríamos multiplicar los ejemplos que nos llevan al sol. Y vean que la idea a la que el manual nos quiere hacer llegar se encuentra expresada de una forma más emocionante. Todo lo que vemos moverse se mueve porque el sol brilla. El lazo entre una y otra fuente de energía se encuentra por lo tanto explicado y el argumento puede ser refutado por los alumnos. Si ellos dicen: "No creo que sea porque el sol brilla", se puede establecer una discusión. Lo cual cambia todo. Un poco más tarde pude objetar a mi padre que esto no era verdad para las mareas ni para la rotación de la tierra. Y volví a encontrar el misterio.

Esto no es más que un ejemplo de lo que distingue a las definiciones (necesarias) de la ciencia misma. En el caso presente, lo que reprocho al manual es dar definiciones desde la primera lección. Más tarde hay que decir, por supuesto, lo que es la energía, pero no en respuesta a una pregunta tan simple como "¿Qué es lo que hace caminar al perro?" A esta pregunta hay que dar a los niños una respuesta a su nivel: "Abre y mira lo que hay adentro".

Yo aprendí mucho durante esos paseos por el bosque. Ya les he hablado de las aves y de la migración. Pero puedo darles otros ejemplos. En lugar de indicarme su nombre mi padre me decía por ejemplo: "¿Te has dado cuenta que los pájaros están siempre hurgando entre sus plumas con el pico? Mira ese pájaro cómo revuelve entre sus plumas. ¿Por qué crees que lo hace?"; intenté responder: "Es porque sus plumas están enredadas y él trata de desenredarlas. —Puede ser— me dijo; pero ¿cuándo se enredan sus plumas y por qué? —Cuando vuela, dije; cuando camina sobre el suelo todo va bien, pero cuando vuela sus plumas se enredan. Entonces, me respondió: —el pájaro debería hurgar entre sus plumas más seguido después de aterrizar que después de haber simplemente caminado. Pues bien, veamos si es cierto".

Nos pusimos entonces a observar: hasta donde yo podía ver, el pájaro no revolvió su plumaje ni más ni menos después

de haber volado que después de haber caminado sobre el suelo. Yo había entonces adivinado mal. Y como no lograba encontrar la explicación correcta, mi padre me la dió: "Las aves tienen piojos; sus plumas producen un tipo de pellejitos comestibles de los que se alimentan los piojos. Y como de entre las articulaciones de las patas de los piojos escurre una cera, hay un pequeño parásito que vive y se alimenta de esta cera. Pero como este alimento es demasiado abundante para el parásito, le cuesta trabajo digerir todo, por lo que arroja un líquido extremadamente azucarado, del cual se alimenta otra criatura minúscula, etc."

Todo esto no es totalmente exacto. Pero la idea general es válida. Y es así como yo aprendí lo que es el parasitismo, un ser viviendo a expensas de otro que a su vez, etc. Mi padre no se detuvo ahí. También me explicó que en el mundo cada vez que existe una fuente de materia prima comestible propicia para mantener la vida, existe también una forma de vida que encuentra cómo emplear esta fuente y que todos los restos terminan siempre siendo utilizados por alguien.

Lo que es importante en todo esto es que todas mis observaciones —aún cuando era incapaz de sacar todas las conclusiones— llegaban siempre a un tesoro, a un resultado extraordinario. Era absolutamente maravilloso. Imagínense que en lugar de todo esto, me hubieran dicho que hiciera observaciones, tomase notas, hiciera una lista, hiciese esto y lo otro, mirase aquí y allá, y diera cuenta de todo esto en una ficha que habría colocado en un archivo con 137 más. La única lección que habría sacado es que una observación no es nada divertida y que no lleva a gran cosa.

Yo creo que es muy importante —en todo caso para mí fue muy importante— cuando uno quiere enseñar a la gente a observar, mostrarles que puede resultar algo extraordinario. En esta época aprendí lo que es la ciencia: una gran paciencia. Si se sabe mirar, examinar, poner atención, uno es ampliamente recompensado (¡aunque no siempre!).

Más tarde, ya adulto, me tocó trabajar con tesón sobre ciertos problemas durante horas y horas, años —aunque también a veces menos tiempo— sin llegar a nada más que aventar al bote de basura montañas de papel. Pero de vez en cuando me ha tocado llegar a una comprensión de un tipo distinto, novedosa, al tesoro que había aprendido a esperar cuando era pequeño y hacía mis observaciones. Pues yo había tomado conciencia desde entonces que siempre vale la pena.

Por cierto, en el bosque aprendíamos muchas otras cosas. Durante nuestros paseos observábamos todo lo que pasaba. Discutíamos mucho sobre las plantas que crecen, los árboles que luchan para tener luz tratando de subir lo más alto posible, y el problema para hacer subir el agua a más de quince metros, sobre las pequeñas plantas que al ras del suelo tratan de captar lo poco de luz que pasa a través de los árboles ... sobre todo el crecimiento en general.

Un buen día, después de haber visto todo eso, mi padre me llevó nuevamente al bosque y me dijo: "Durante todo

el tiempo que hemos pasado en el bosque no hemos visto más que la mitad de lo que pasa, exactamente la mitad. —¿Qué quieres decir?— pregunté. —Hemos examinado la forma en que las cosas crecen. Pero todo crecimiento debe estar forzosamente acompañado de una degradación igual, si no las diferentes sustancias jamás serían consumidas. No habría más que árboles muertos que habrían agotado todo el alimento del aire y del suelo; nada regresaría ya ni a la tierra ni al aire. Nada más podría crecer ya que no habría más materiales disponibles. Todo crecimiento debe ser seguido necesariamente de una degradación equivalente".

Hubieron entonces más paseos por el bosque: partíamos viejos troncos, observábamos curiosos insectos, hongos en crecimiento; mi padre no podía mostrarme las bacterias pero observábamos su efecto degradador ... Yo ví en el bosque un incesante trabajo de circulación de la materia.

El me explicaba así muchas cosas, de esta forma tan graciosa. A menudo empezaba sus frases con: "Imagina que un marciano llega y observa nuestro mundo". Es una buena manera de ver el mundo. Así, por ejemplo, cuando me puse a jugar con el tren eléctrico, me contó que hay en algún lugar una gran rueda que el agua hace girar y de ahí salen un montón de cables de cobre en todas direcciones, que van muy lejos... y al final hay unas ruedas pequeñas que giran cuando la gran rueda gira. La gran rueda y las pequeñas no están unidas más que por cables de cobre o de hierro, nada más, nada que se mueva. Se hace girar una rueda en algún lugar y todas las pequeñas ruedas en todas partes se ponen a girar; y tu tren eléctrico es una de esas ruedas. "¡Que bello era el mundo que me describía mi padre!"

Y finalmente dirán: qué ha ganado con todo esto su padre. Yo entré al MIT; fui a Princeton. Luego regresé a la casa y el me dijo entonces: "Ahora que has realizado estudios de ciencia, hijo mío, hay algo que jamás he comprendido y que quisiera que me explicaras. —Dilo—. Hasta donde yo sé, un átomo emite luz cuando pasa de un estado a otro, de un estado de excitación a un estado de menor energía. —Exacto—. Y la luz es un tipo de partícula, un fotón creo. —Sí—. Bueno, pero si el fotón sale del átomo cuando éste pasa del estado excitado al estado de energía más baja ¿estaba ya el fotón en el átomo en estado de excitación?"

Reflexioné un instante. "Discúlpame, dije, no lo sé; no puedo responderte". Se decepcionó mucho. ¡Haber hecho tantos esfuerzos, tanto tiempo empleado para llegar a tan malos resultados!

¿Qué es la ciencia? A mi parecer algo así: la vida sobre nuestro planeta ha evolucionado hasta que aparecieron animales dotados de inteligencia. No pienso solamente en los humanos, sino también en los animales que son capaces de jugar y de extraer lecciones de la experiencia (los gatos, por ejemplo). Sin embargo, en ese estadio cada animal sacaba únicamente lecciones de su propia experiencia. Pero en el curso de la evolución sucedió que uno de esos animales fue capaz de sacar lecciones de la experiencia de otros, mirándolos actuar. O bien, uno de ellos llegó a ser capaz de enseñar a los otros cómo actuar; desde entonces, cada uno tuvo la posibilidad de aprender. Pero la transmisión no se hacía necesariamente y los animales morían antes que aquellos que sabían hubiesen tenido tiempo de transmitirles su saber.

La pregunta se impone: ¿es posible aprender lo que otro aprendió antes de que lo olvide, o que la memoria falle, o bien que el que ha comprendido o inventado algo, muera?

Llegó entonces una época, quizás, en la que para una cierta

Tomado de: Lewis Carroll



especie las facultades de aprendizaje aumentaron tan rápidamente que se produjo algo absolutamente nuevo. A partir de entonces, lo que un animal había aprendido individualmente podía ser transmitido a otro, luego a otro, suficientemente rápido para que toda la especie se beneficiara. Le fue posible a esta especie acumular su conocimiento. Tengo en este momento algunos representantes de esta especie animal que tratan de unir sus experiencias individuales.

Este fenómeno de memoria colectiva, de conocimiento acumulado, transmisible de una generación a otra es completamente nuevo. Pero presenta un inconveniente, que las ideas dañinas al igual que las demás, pueden ser transmitidas. No todas las ideas son forzosamente benéficas a la especie.

Durante cierta época, se acumularon entonces, poco a poco, cosas prácticas y útiles, pero así mismo prejuicios de todo tipo, creencias raras o aberrantes. La especie inventó entonces la forma de remediar este inconveniente: dudar que las ideas legadas por el pasado fuesen efectivamente verdaderas, tratar de descubrir, *ab initio*, a través de la experiencia, cual es la situación real y no conformarse con la experiencia pasada tal y como fue transmitida. Esto es la ciencia —este descubrimiento de que más vale no confiar en la experiencia del pasado de la especie— y que más vale verificar todo por sí mismo haciendo nuevos experimentos. Así es como yo veo las cosas. Es la mejor definición de la ciencia que puedo dar.

Para incitarlos a entusiasmarse quisiera ahora recordarles ciertas cosas que ya saben. En la enseñanza religiosa hay lecciones de moral, pero no se contentan con enseñarnos esta moral de una vez para todas; nos la repiten constantemente; la ciencia también creo que hay que insuflarla constantemente; hay que recordar sin cesar los efectos benéficos de la ciencia para los niños, los adultos o cualquiera. Y no solamente sobre el tema: "la ciencia desarrolla el sentido de responsabilidad cívica, o ella permite controlar mejor la naturaleza". No, pues esto no es todo. La ciencia vale también por la riqueza de la visión del mundo que nos da, por la belleza maravillosa del mundo tal y como lo descubrimos a través de los resultados de los experimentos nuevos. Entiendo por esto maravillas tales como las que acabo de evocar: que las cosas se mueven porque el sol brilla. (Sin embargo no todos los movimientos se deben a que el sol brilla. La tierra gira independientemente de que el sol brille y las reacciones nucleares aportan desde hace poco, nuevas fuentes de energía terrestre. Es probable que la actividad volcánica no tenga su origen en la energía solar.)

¡El mundo parece tan diferente cuando uno sabe! Por ejemplo, los árboles están esencialmente hechos de aire. Cuando un árbol se quema, regresa al aire; el calor liberado por la combustión es el calor del sol que se necesitó para transformar el aire en árbol, y las cenizas representan la parte restante, la que no provenía del aire sino de la tierra. ¿No es bello todo esto? La ciencia rebosa de tales maravillas que inspiran entusiasmo y de las que uno se puede servir para insuflar el entusiasmo a otros.

La ciencia posee también la cualidad de enseñarnos las virtudes del pensamiento racional, la importancia de la libertad de pensamiento, los efectos benéficos de la duda frente a lo aprendido. Hay que distinguir aquí —y particularmente en la enseñanza— la ciencia propiamente dicha de su letra o de las formulaciones empleadas algunas veces para exponerla. Decir: "Escribamos esto o lo otro, hagamos tal o cual experimento, observemos que ..." etc., no tiene nada de difícil. Basta con copiar palabra por palabra la fórmula. Pero sabemos bien que las grandes religiones se debilitan por atenerse únicamente

## FEYNMAN

Juan Manuel Lozano

Richard P. Feynman recibió el premio Nobel en 1965 junto con Julian Schwinger y Simitiro Tomonaga. El motivo fue el trabajo que, cada uno por su parte, había hecho sobre la electrodinámica cuántica.

Los estudios de electrodinámica cuántica empezaron en los años veinte cuando Dirac, Heisenberg y Pauli formularon una teoría para la interacción de partículas cargadas, en especial los electrones, con el campo electromagnético, que estuviera de acuerdo con la teoría especial de la relatividad. Todo iba bastante bien hasta que Lamb encontró que dos estados del átomo de hidrógeno, que según la teoría debían tener la misma energía, tienen energías distintas; esto se llama el corrimiento Lamb. Para acabarla de amolar, Kusch y Foley encontraron una discrepancia entre la teoría y el experimento en el valor del momento magnético del electrón. Además había dificultades con el formalismo que conducían a resultados absurdos. Esto no podía seguir así y entonces era necesario reformular la teoría. A este problema se dedicaron, con enfoques diferentes, Feynman, Schwinger y Tomonaga a mediados de la década de los años 40. Una de las ideas de Feynman que resultaron más útiles fue la representación de las interacciones entre las partículas y los fotones por medio de ciertos diagramas que, desde entonces se conocen como "diagramas de Feynman". El éxito de la nueva electrodinámica cuántica hizo que para el año 1948, cuando tenía treinta años de edad, Feynman fuera un físico con amplio reconocimiento internacional.

Richard Feynman nació en un barrio de los límites de la ciudad de Nueva York en 1918; a los diecisiete años ingresó al Instituto Tecnológico de Massachusetts donde realizó sus estudios de licenciatura (bachelor in science degree) hasta 1939. Es interesante señalar que en ese año publicó su primer trabajo de investigación que llevó a cabo bajo la dirección de un físico mexicano que en esa época era profesor en el MIT, don Manuel Sandoval Vallarta. Después se pasó a la Universidad de Princeton donde obtuvo el doctorado en 1942. Recién doctorado empezó a trabajar en el Manhattan Project, el de la bomba atómica, en el Laboratorio de los Alamos. Al terminar la segunda guerra mundial fue nombrado profesor en la Universidad de Cornell hasta 1950 y luego profesor del Instituto Tecnológico de California hasta su muerte a principios de este año.

Feynman visitó México por primera vez en 1950 para asistir a un congreso de la American Physical Society. Era entonces un hombre joven que parecía ser más joven aun, alto, delgado, de muy buen humor. En esa ocasión no hablé con él, pero recuerdo que Alejandro Medina, que era profesor de la Facultad de Ciencias, nos lo señaló a sus alumnos: ese es el famoso Feynman. Nos llamaba la atención que un tipo tan joven fuera ya un físico famoso.

Quiero contar aquí una anécdota desconocida de Feynman sobre la primera vez que conversamos. Un sábado en la mañana del año de 1952 estábamos unos cuantos estudiantes en el local del Instituto de Física en el Palacio de Minería. En esa época el Instituto sólo tenía un salón grande en el que estaban los escritorios de los investigadores, el del director y el de la secretaria, la biblioteca y el garrafón de agua electropura; eso era todo. De repente vimos que entró un tipo alto y delgado y preguntó dónde estaban los cubículos de los investigadores; era una pregunta que nos parecía rara porque los investigadores no tenían cubículos. Reconocí que esa persona era Feynman. Luego preguntó si llegaría Moshinsky pero le dijimos que probablemente no; entonces nos dijo que tenía tres días de casado y estaba pasando su luna de miel en México pero que ya tenía ganas de hablar de física y que había dejado a su mujer en el hotel para poder buscar físicos y conversar. Parece extraño que alguien interrumpa su luna de miel para hablar de física, pero en fin, así era Feynman. Le dijimos que aunque nosotros éramos estudiantes podíamos platicar, pero en el café, de modo que nos fuimos todos al Café Paris, que está atrás del Palacio de Minería y que era un lugar muy interesante desde el punto de vista cultural. En el café platicamos un largo rato y nos dimos cuenta de que Feynman era un hombre de brillante inteligencia, de gran simpatía y muy bromista (también era muy bueno para tocar tambores africanos porque tenía mucho sentido del ritmo). La conversación, que fue en una mezcla de español, portugués e inglés, fue derivando hacia temas filosóficos y al final nos dijo que una de las cosas que realmente quería saber era ¿qué es el rojo?, pero nos advirtió que no le contestáramos hablando de longitudes de onda sino que lo que le interesaba era la esencia de lo rojo. También nos pidió que no le dijéramos a nadie, en especial a los físicos, que él tenía esas preocupaciones raras; pero como ya se murió lo cuento ahora.



a la letra y olvidar el contenido de las enseñanzas de sus grandes figuras. Igual podemos llamar ciencia, contentándonos con la formulación solamente, a lo que es pseudociencia. Desde este punto de vista, actualmente todos soportamos la especie de dictadura que reina en gran cantidad de instituciones científicas, caídas bajo la bota de consejeros pseudocientíficos.

Tomemos por ejemplo el caso de los estudios de pedagogía en los que la gente hace experimentos, listas, estadísticas, etc. Todo esto no hace por tanto que se trate de ciencia verdadera, de conocimiento auténtico; no son más que copias de la ciencias, comparables a esos aeródromos y torres de control de madera que encontramos en las islas del Sur del Pacífico. Los indígenas que desean la visita de un gran avión llegan hasta construir aviones de madera con la misma forma que los que han visto en los aeropuertos contruídos por los extranjeros; pero, curiosamente, esos aviones de madera no vuelan. Esta imitación pseudocientífica tiene por objetivo producir expertos. Pero ustedes que son verdaderamente expertos, ustedes que se las ven con los niños directamente, ustedes deberían quizás de vez en cuando poner en duda la palabra de los expertos. De hecho, yo podría dar otra definición de la ciencia: la ciencia es la creencia en la ignorancia de los expertos.

Si alguien les dice: "La ciencia nos enseña que ...", no está empleando la palabra ciencia como se debe. La ciencia no nos enseña nada: es la experiencia la que nos enseña algo. Si les dicen: "La ciencia muestra que ...", respondan: "¿Cómo lo muestra la ciencia? ¿Cómo han encontrado los científicos esto? ¿Cómo? ¿Dónde? ¿Quién?" No debemos decir: "La ciencia muestra que ...", sino: "Tal experimento, tal efecto, muestra que ...". Y tienen todo el derecho, ustedes al igual que todos, después de haber escuchado una reseña de tales experimentos (pero cuidado, sean pacientes y escuchen bien todo) a decidir si la conclusión que se ha sacado es o no razonable.

En un área tan complicada como la enseñanza, donde la verdadera ciencia no lleva aún a nada, tenemos que confiarnos a una sabiduría tradicional de un elemental sentido común. Yo trato aquí de sugerir a los enseñantes de base que pueden depositar su confianza y su esperanza en la inteligencia natural y el sentido común. Los expertos que los guían pueden equivocarse.

El día de hoy probablemente eché todo a perder y de ahora en adelante los estudiantes que nos lleguen a Caltech no servirán para nada. Vivimos, me parece, una época de no-ciencia y todo ese escándalo alrededor de las comunicaciones, de la televisión, de las palabras, de los libros, etc., no tiene nada que ver con la ciencia. Mediante todo esto sufrimos, en nombre de la ciencia, una pesada tiranía intelectual.

Un hombre no sobrevive a su muerte. Cada generación que descubre algo a partir de su propia experiencia debe transmitirlo a las siguientes; pero hay que mantener un delicado equilibrio entre respeto e irrespeto, de tal forma que la especie (que ahora sabe a qué peligro se expone) no imponga de manera tan rígida sus errores a la generación que viene y le transmita su capital de sabiduría ... y además, la sabiduría para saber que quizás no es esta la sabiduría.

Hay que enseñar a los niños al mismo tiempo a aceptar el pasado y a desecharlo, lo cual requiere de mucha habilidad. Entre las disciplinas impartidas, la ciencia es la única que porta en ella esta lección: es peligroso creer en la infalibilidad de los maestros de la generación precedente.

Por lo tanto, buena suerte. ⊕

## **MATHESIS. FILOSOFIA E HISTORIA DE LAS MATEMATICAS.**

**Volumen III. número 4, noviembre de 1987. Facultad de Ciencias.**

## **NUESTRA AMERICA.**

**Número 13, enero-abril de 1985. Centro Coordinador y Difusor de Estudios Latinoamericanos.**

## **ARTES PLASTICAS.**

**Volumen 2, número 6, diciembre de 1987. Escuela Nacional de Artes Plásticas.**

## **CIENCIAS.**

**Número especial. Evolución. Primera reimpresión. Facultad de Ciencias.**

De venta en las librerías universitarias



**COORDINACION DE HUMANIDADES**

# **REVISTAS**

