

## **ALBERT EINSTEIN Y EL ORIGEN DE LOS MEANDROS**

**Arturo Rocha Felices**  
Consultor de Proyectos Hidráulicos

### **Introducción**

**Albert Einstein, el famoso autor de la Teoría de la Relatividad, es muy conocido entre los científicos y también entre el gran público, debido al enorme impacto que produjo su obra en el desarrollo de la física moderna y de la ciencia en general.**

**En cambio, los meandros, que son aquellas misteriosas curvas que de un modo reiterativo describen perezosamente algunos ríos, sólo son estudiados por los ingenieros dedicados a la hidráulica fluvial. Los meandros aparecen también, metafóricamente, en algunos críticos literarios y escritores, como por ejemplo en Borges (“... los meandros de su infatigable novela”). A su vez, de la prosa de Borges se ha dicho que ella es difícil por los meandros ideológicos que se ocultan o emergen inopinadamente de sus obras, en contextos inesperados... En arquitectura, meandro es un adorno de líneas sinuosas y repetidas.**



**Uno de los hechos menos conocidos de la actividad científica de Einstein es el interés que tuvo por algunos aspectos de la hidráulica fluvial. En efecto, en 1926 publicó en la revista Die Naturwissenschaften (Las**

Ciencias Naturales) un breve artículo titulado “Las Causas de la Formación de los Meandros Fluviales y la llamada Ley de Baer”, que correspondía a la conferencia que había dictado el 7 de enero de 1926 en la Academia Prusiana. Se adjunta la traducción especialmente preparada por el autor.

De la lectura de lo arriba expuesto surge inmediatamente la pregunta ¿qué relación existe entre Albert Einstein y los meandros? Esa es la pregunta que trataremos de responder en el presente trabajo. Por ello es útil empezar con algunos aspectos de la vida del famoso científico.

### Su vida

Albert Einstein nació en 1879 en Ulm (Baden-Wurtemberg, Alemania), a orillas del río Danubio, cuyos característicos meandros seguramente observó muchas veces. Realizó sus estudios de matemáticas y física en la famosa Escuela Politécnica de Zúrich, donde se graduó el año 1900. El laboratorio de Hidráulica de dicho Politécnico (VAWE), que fue durante muchos años dirigido por Meyer-Peter, reconocido investigador en el campo de la Hidráulica Fluvial, específicamente en Transporte de Sedimentos, ha tenido mucha relación con el Perú. En él se han realizado numerosos estudios en modelo hidráulico, el más importante de ellos fue el de la sedimentación y purga del embalse del Proyecto Mantaro (Tablachaca).



A los 26 años, en 1905, Albert Einstein dio a conocer su trabajo titulado “Sobre la Electrodinámica de los Cuerpos en Movimiento”, que después se conocería con el nombre de Teoría de la Relatividad Especial. En 1909 era profesor en la Universidad de Zúrich, en 1911 lo era de Física Teórica en la Universidad de Praga y en 1914 llegó al alto cargo de director del Instituto de Física Kaiser-Wilhelm, (en la actualidad es el Instituto de Física Max Planck). En 1916 dio a conocer la Teoría de la Relatividad Generalizada y en 1922 obtuvo el Premio Nobel de Física por sus investigaciones de física teórica, específicamente por sus trabajos sobre la teoría del efecto fotoeléctrico. Al otorgársele el Premio no se mencionó la Teoría de la Relatividad, que aún no se consideraba suficientemente comprobada.

En 1933, luego de casi veinte años, ante la creciente presión del nazismo dejó la dirección del Instituto Kaiser-Wilhelm y se trasladó a Estados Unidos y se incorporó al Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, New Jersey, donde permaneció unos veinte años. En 1940 se nacionalizó norteamericano y permaneció en Princeton trabajando en sus investigaciones sobre la Teoría del Campo Unificado, hasta su muerte en 1955. Desde hace muchos años se le reconoce como el padre de la física moderna.

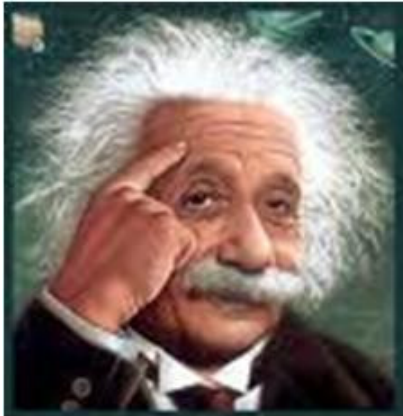
### Su interés en diversos temas

Einstein no solo se interesó por la física; era muy aficionado a la música y tocaba el violín con gran habilidad. Fue también un gran pacifista y frente a la amenaza de las nuevas armas llegó a decir: “No sé con qué armamento se peleará la Tercera Guerra Mundial, pero la Cuarta Guerra Mundial se peleará con palos y piedras.” Escribió numerosos artículos en pro de la paz: “La cuestión del desarme”, “Se ha ganado la guerra, pero no la paz”, “La búsqueda de la paz”, y otros más. En 1950 Albert Einstein se dirigió a los estadounidenses y señaló el peligro de las armas nucleares y los riesgos de la carrera armamentista entre Estados Unidos y la entonces Unión Soviética.

Einstein se interesó en numerosos temas, como los ya mencionados de la física, la música y el pacifismo. Tenía una mente inquieta y una vez afirmó “Todos somos muy ignorantes. Lo que ocurre es que no todos ignoramos las mismas cosas.” Tuvo también mucha sensibilidad por los temas sociales; en una oportunidad expresó lo siguiente: “¡Triste época la nuestra! Es más fácil desintegrar un átomo que un prejuicio”. Escribió, entre otros temas, sobre: “Mis primeras impresiones de Estados Unidos”, “El auténtico valor del ser humano”, “La comunidad judía”, “Resurgir judío” y “Cristianismo y judaísmo”. Quizás fue en ese contexto de incompreensión y rechazo al segregacionismo que dijo: “Hay dos cosas infinitas: el Universo y la estupidez humana. Pero, no estoy muy seguro de la primera. De la segunda puedes observar cómo nos destruimos solo para demostrar quién puede más”

El interés y admiración que produjeron sus estudios sobre la Teoría de la Relatividad, de algún modo opacaron sus muy variadas contribuciones en otros campos del pensamiento. Su libro “Mis ideas y opiniones”, constituye una recopilación de lo que algunos autores han llamado sus trabajos “menos técnicos”. Escribió entre otros, sobre los siguientes temas: “El mundo tal como yo lo veo”, “El significado de la vida”, “Sobre la libertad académica”, “Fascismo y ciencia”, “Métodos inquisitoriales

modernos”, “El espíritu religioso de la ciencia”, “Religión y ciencia: ¿Irreconciliables?”, “La necesidad de una cultura ética”, “Sobre la literatura clásica”, “Mahatma Gandhi”, “En la memoria de Max Planck”, “La cultura ha de ser una de las bases de la comprensión mundial”, “Sobre la verdad científica”, “Johannes Kepler”, “Mensaje en el aniversario de la muerte de Copérnico” y muchos otros más, entre los que se encuentra su notable contribución acerca del origen de los meandros.



Dado el interés que tuvo Einstein por tantos y diversos temas no debería llamarnos la atención su investigación sobre los meandros; sin embargo, debe reconocerse que se trata de un tema muy específico de hidráulica fluvial, que resultó ser algo aislado dentro de su enorme producción científica y humanista. Recordemos que no solo escribió el artículo mencionado, sino que previamente había dictado una conferencia sobre los meandros.

¿Es que recordó los meandros que en su niñez vio en el Danubio? ¿Es que tuvo un interés por ellos como consecuencia de una conversación con su hijo Hans Albert, graduado de ingeniero civil en Zúrich el mismo año en que escribió el artículo? ¡Quién sabe!, pero lo que no puede dejar de tenerse en cuenta es que por sus trabajos de física, Einstein tuvo que estudiar muy profundamente la fuerza de Coriolis, así como los problemas relacionados a la curvatura en general, de donde no resulta tan extraño que se interesase por la curvatura de los ríos y de su explicación a partir de efecto de Coriolis.

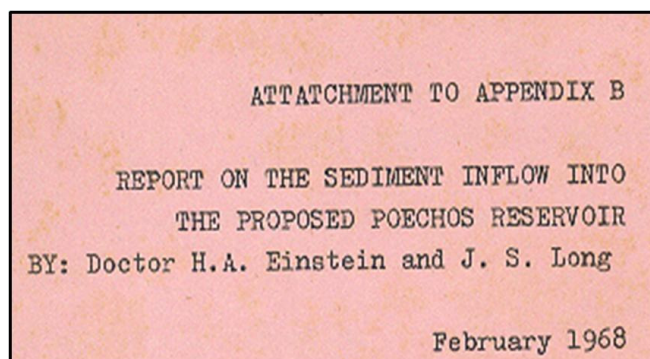
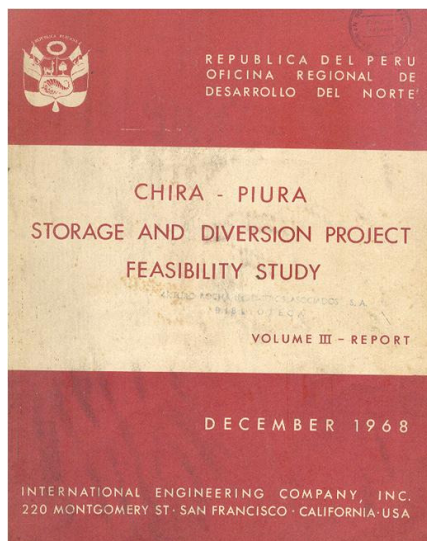
### Hans Albert Einstein

Al tratar de Einstein y los meandros se recuerda a su hijo Hans Albert, quien había nacido en 1904 en Berna, Suiza, cuya figura es muy conocida entre los especialistas en hidráulica fluvial por sus trabajos sobre Transporte de Sedimentos y, específicamente, por la fórmula que lleva su nombre y que se usa para determinar la capacidad de transporte de sólidos de los cursos de agua. Hans Albert se recibió de ingeniero civil en 1926, el mismo año en el que su padre escribió el artículo sobre los meandros y obtuvo su doctorado en Zúrich en 1936 con una tesis sobre “El Transporte Sólido de Fondo como un Problema Probabilístico”. Fue colaborador de Meyer-Peter. Más tarde, en 1938, se trasladó a Estados



Unidos y continuó sus investigaciones sobre transporte de sedimentos en el U.S. Department of Agriculture Cooperative Laboratory, California Institute of Technology, de donde resultó su famosa fórmula para el cálculo del transporte sólido (“The Bed-Load Function for Sediment Transportation in Open Channel Flows”). En 1947 se incorporó como profesor en Berkeley, California.

Hans Albert Einstein participó en el Estudio de Factibilidad del Proyecto Chira-Piura (1968) y, junto con J. S. Long, preparó el documento preliminar titulado “Report on the Sediment Inflow into the Proposed Poechos Reservoir”. En aquella oportunidad visitó el Laboratorio Nacional de Hidráulica y conoció el primer modelo de fondo móvil que se ha investigado en nuestro Laboratorio. Falleció en 1973.



## Los meandros

La Real Academia Española define la palabra meandro como cada una de las curvas que describe el curso de un río. Por extensión se aplica a un camino. La palabra meandro viene del griego, a través del latín. En griego, “Maiandros” (Μαίανδρος) era el nombre de un río del Asia Menor, célebre por lo tortuoso de su curso. En el presente se le conoce con los nombres de Mendereh, Büyük Menderes o Menderez y se encuentra en la actual Turquía.

Los ríos a meandros son ríos muy sinuosos y presentan muchas inflexiones a lo largo de su recorrido. Un río aluvial es tortuoso en la medida en la que tiene muchas curvas y tiene meandros en la medida en la que estas curvas (es decir, las tortuosidades) se desplazan. Se dice

también que un meandro es la sinuosidad de un río formada por un proceso de erosión en la orilla exterior (cóncava) y de sedimentación en la orilla interior (convexa).



Para empezar a comprender el comportamiento de los meandros es necesario plantear la siguiente pregunta. ¿Existe algo así como un río recto? La respuesta es no, los ríos rectos prácticamente no existen en la naturaleza. La formación de curvas y meandros es inherente a los ríos aluviales. Es por eso que se dice que son serpenteantes, es decir, que tienen una tendencia natural a no seguir un curso rectilíneo, lo que constituye una expresión de su naturaleza.

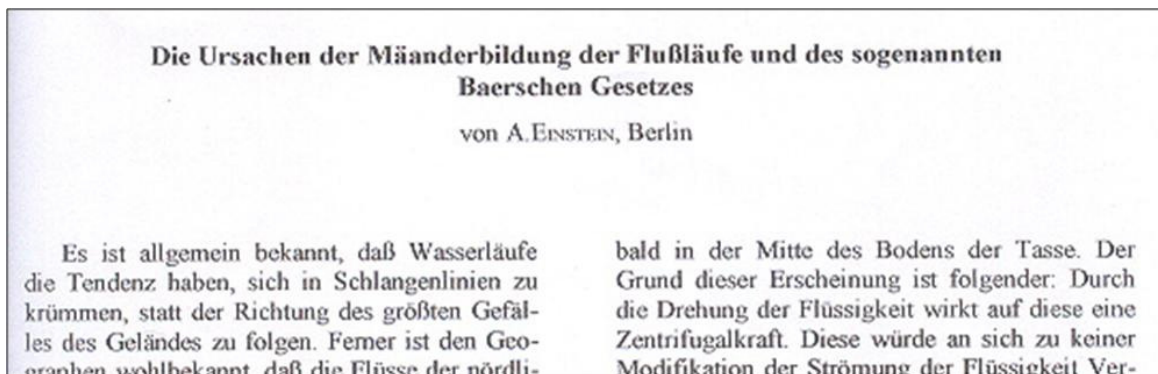
El origen de los meandros ha interesado a numerosos investigadores, pues su comportamiento es complejo e intrigante, y se han hecho grandes esfuerzos por comprenderlos. Son muy ilustrativas las menciones de Leliavsky acerca de las investigaciones realizadas hace muchos años en el laboratorio de Dresde y que consistieron básicamente en lo siguiente. Se colocó un fondo granular con una ligera pendiente. Se insinuó un cauce recto y se dejó correr el agua. Leliavsky comenta “¿Erosionará esa agua un solo cauce rectilíneo...? Se observó que a medida que iba pasando el tiempo el cauce originalmente rectilíneo iba curvándose paulatinamente hasta que se formaba un cauce sinuoso o *meándrico*.

El intenso dinamismo que presentan las curvas fluviales, que se manifiesta mediante procesos de erosión y sedimentación y desplazamientos laterales y longitudinales, juega un papel decisivo en la gestación y desarrollo de la morfología fluvial. Esta enorme movilidad de los meandros tiene gran importancia para la ingeniería en el momento de proyectar una obra ubicada en sus inmediaciones. La interacción entre ríos y puentes se exagera en las proximidades de un meandro. El

artículo de Albert Einstein ayudó a comprender el origen de esas misteriosas curvas fluviales.

## El origen de los meandros

El artículo de Einstein de 1926 es en verdad breve. Menos de tres páginas, tres figuras muy simples y solo una fórmula. Se recuerda acá unas palabras de Einstein, dichas en otro contexto, pero aplicables a su explicación del origen de los meandros: “Desde que los matemáticos invadieron la teoría de la relatividad, yo mismo no la entiendo más.”



Einstein menciona en el título de su trabajo sobre el origen de los meandros la ley de Baer que consiste básicamente en que debido a la rotación de la Tierra, en el hemisferio norte la erosión fluvial se presenta principalmente en la margen derecha, en tanto que en el hemisferio sur ocurre en la izquierda. Esta muy discutida ley se debe a las observaciones realizadas por el biólogo y geógrafo Karl Ernst von Baer (1860).

Einstein continúa su artículo con gran humildad, pues señala que no está seguro de que lo que escribe sobre el origen de los meandros sea algo nuevo para los especialistas. Pero, añade que como no ha encontrado a nadie que explique las relaciones causales correspondientes, resulta pertinente dar una corta y cualitativa exposición de ellas.

Sigue con gran sencillez, de un modo que recuerda a Galileo, quien se refirió a la naturaleza como el gran libro abierto ante nuestros ojos, y el sabio de Ulm, como si estuviese mirando el curso fluvial, dice: “Es de conocimiento general que cursos de agua tienden a formar curvas, en lugar de hacer un recorrido recto siguiendo la inclinación del terreno según la línea de máxima pendiente”. Como se ve, Einstein amaba la sencillez y se inspiraba en el mundo natural, lo que no ocurre con muchos científicos, quizás por eso dijo: “Cada día sabemos más y entendemos menos.”

Para tratar el origen de los meandros Einstein utilizó, al igual que en otras de sus publicaciones científicas, la técnica denominada “experimentos mentales” y si se recuerda que solo usó una fórmula, además muy simple, adquieren pleno significado algunas palabras suyas, dichas en otra oportunidad, pero muy significativas: “Cuando me examino a mí mismo y mi método de pensamiento, llego a la conclusión de que el don de la fantasía ha significado para mí más que mi talento para absorber el conocimiento positivo”. A lo que podría añadirse otras palabras suyas: “En los momentos de crisis, sólo la imaginación es más importante que el conocimiento.”

Siguiendo con la simpleza que lo caracteriza empieza con un pequeño experimento que cualquiera puede fácilmente repetir y que consiste en imaginar una taza con fondo plano, llena de té. A partir de la observación del movimiento de las hojas de té señala que algo similar ocurre cuando un río desarrolla una curva y concluye que “en cada sección transversal a lo largo de una curva fluvial se desarrolla una fuerza centrífuga que actúa hacia la parte exterior de la curva. Esta fuerza es menor cerca del fondo, donde la velocidad es menor como consecuencia de la fricción, y mayor lejos de él.” Y añade que esto causa un movimiento circular del líquido.

Señala luego que aun en los tramos fluviales que no son curvos se presentará un movimiento circular, aunque muy pequeño, y que se debe a la influencia de la rotación de la Tierra. Y sigue su desarrollo señalando que el ajuste de la distribución de velocidades como consecuencia de la fricción interna contrarresta lentamente las consecuencias del movimiento circular. El desarrollo de un flujo helicoidal favorece la formación de los meandros.

Muchos estudiosos se han interesado por los meandros, pero muy pocos autores mencionan la contribución de Einstein a su esclarecimiento. Se considera que el artículo de Albert Einstein sobre los meandros ayudó considerablemente a entender, de un modo muy simple, la participación del flujo helicoidal en la formación de los meandros, en la determinación de su longitud y en su propagación hacia aguas abajo.

## Referencias

1. BOWKER Kent A. **Albert Einstein and Meandering Rivers.** Earth Science History, V. 1, N°. 1, 1988.
2. EINSTEIN Albert **Die Ursachen der Mäanderbildung der Flußläufe und des sogenannten Baerschen Gesetzes.** Die Naturwissenschaften, 1926.



3. EINSTEIN Albert **Mis ideas y Opiniones.** Editorial Antoni Bosch, Barcelona, junio 2000.
4. EINSTEIN Hans Albert **Der Geschiebetrieb als Wahrscheinlichkeits Problem.** Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau an der Eidgenössischen Technischen Hochschule. Zürich; 1937
5. EINSTEIN Hans Albert y LONG J. S **Report on the Sediment Inflow into the Proposed Poechos Reservoir.** Estudio de Factibilidad del Proyecto Chira-Piura. IECO, 1968.
6. LIENHARD John H. **Meandering Rivers.** University of Houston's College of Engineering.
7. MARTÍNEZ FRÍAS Jesús y otros **A Review of the contributions of Albert Einstein to Earth Sciences- In commemoration of the World Year of Physics.** Die Naturwissenschaften, 2006.
8. ROCHA FELICES Arturo **La morfología fluvial y su incidencia en la estabilidad de las obras viales.** VIII Congreso Internacional de Obras de Infraestructura Vial. Lima, diciembre 2009.
9. ROCHA FELICES Arturo **Sobre la influencia de aceleración complementaria de Coriolis en los modelos hidráulicos.** Boletín Técnico 4-003, Laboratorio Nacional de Hidráulica, Lima, febrero 1966.

## **Las Causas de la Formación de los Meandros Fluviales y la llamada Ley de Baer**

**A. Einstein, Berlín**

Die Naturwissenschaften, 1926

## Las Causas de la Formación de los Meandros Fluviales y la llamada Ley de Baer

Traducción del artículo de Albert Einstein titulado

### ***Die Ursachen der Mäanderbildung der Flußläufe und des sogenannten Baerschen Gesetzes***

(Traducción: Arturo Rocha Felices)

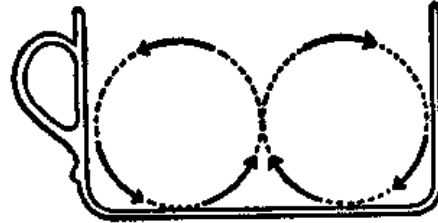
*Es de conocimiento general que los cursos de agua tienen la tendencia a serpentear, formando curvas, en lugar de hacer un recorrido recto siguiendo la inclinación del terreno según la línea de máxima pendiente. Además, es bien conocido entre los geógrafos que los ríos del hemisferio norte tienen la tendencia a erosionar, principalmente, la margen derecha; con los ríos del hemisferio sur ocurre lo contrario (Ley de Baer). Ha habido numerosas investigaciones buscando la explicación de este fenómeno y no estoy seguro de que lo que digo a continuación sea algo nuevo para los especialistas, aunque algunas de las consideraciones que hago son ciertamente conocidas. Sin embargo, como no he encontrado a nadie que haya explicado las relaciones causales antes señaladas, pienso que es pertinente dar una corta y cualitativa exposición de ellas.*

*En primer lugar, está claro que la erosión debe ser mayor en la medida en que lo sea la velocidad de la corriente en la margen respectiva, o bien, en la medida en la que la velocidad se acerque más abruptamente a cero hacia el contorno. Esto es cierto para todas las condiciones, sea que la erosión dependa de factores mecánicos o físico-químicos (composición del cauce). Por lo tanto, debemos concentrar nuestra atención en las circunstancias que determinan el gradiente de velocidades cerca del contorno.*

*En ambos casos la asimetría en lo que respecta al gradiente de velocidades se debe indirectamente a la formación de un movimiento circular hacia el cual dirigiremos en primer lugar nuestra atención. Empiezo con un pequeño experimento que cualquiera puede fácilmente repetir.*

*Tengo delante de mí una taza con fondo plano llena de té. En el fondo hay algunas hojas de té, que están ahí porque son más pesadas que el líquido que desplazan. Si hacemos rotar el líquido por medio de una cuchara, las hojas de té se agruparán inmediatamente en la parte central del fondo de la taza. La razón de este fenómeno es la siguiente: la rotación del líquido genera una fuerza centrífuga. Como no se trata de un sólido, sino de un fluido, se producen deformaciones. Pero, como el contorno produce un efecto retardador debido a la fricción, la velocidad angular con la que rota el fluido en sus proximidades es menor que en otros puntos más próximos al centro. En especial, la velocidad angular de rotación y, por lo tanto, la fuerza centrífuga será menor cerca del fondo que a una mayor altura. El resultado será un movimiento circular del*

líquido del tipo que se aprecia en la Fig. 1, el que va en aumento hasta que por la influencia de la fricción del contorno se vuelve permanente<sup>1</sup>. Las hojas de té son atraídas hacia el centro y con ello demuestran la existencia del movimiento circular.



**Fig. 1**

Algo similar ocurre en un río que desarrolla una curva (Fig. 2). En todas las secciones transversales a lo largo de la curva fluvial se genera una fuerza centrífuga dirigida hacia la parte exterior de la curva (de A hacia B). Esta fuerza es menor cerca del fondo, donde la velocidad de la corriente es menor como consecuencia de la fricción del contorno, y es mayor lejos de él. Esto causa un movimiento circular del tipo que se ilustra en la figura. Aun en los tramos fluviales que no son curvos<sup>2</sup> se presentará un movimiento circular como el mostrado en la Fig. 2, aunque muy pequeño, y que se debe a la influencia de la rotación de la Tierra. Ese movimiento circular produce una fuerza de Coriolis, que actúa transversalmente a la dirección de la corriente, cuya componente horizontal derecha es  $2 V \omega \sin \varphi$  por unidad de masa del líquido, en la que  $V$  es la velocidad de la corriente,  $\omega$  es la velocidad de rotación de la Tierra y  $\varphi$  es la latitud geográfica. Como la fricción con el contorno produce una disminución de dicha fuerza hacia el fondo, esto da lugar también a un movimiento circular como el indicado en la Fig. 2.

Después de esta reflexión preliminar regresamos al problema de la distribución de velocidades en la sección transversal de la corriente, que es el factor que controla la erosión. Para ello debemos, en primer lugar, visualizar cómo es que en un río (en flujo turbulento) se desarrolla y se mantiene la distribución de velocidades. Si el agua de un río que estuviese en reposo fuese de pronto puesta en movimiento por acción de una fuerza aceleradora uniformemente distribuida, la distribución de velocidades en la sección transversal sería inicialmente uniforme<sup>3</sup>. La distribución de velocidades, es decir, el aumento gradual de las velocidades desde el contorno hacia el interior de la sección transversal, se establecerá después de un cierto tiempo, como consecuencia de la fricción del contorno. Si ocurriese una alteración de la distribución (aproximadamente) permanente de velocidades en la sección transversal, ésta (por la influencia de la fricción) se restablecerá lentamente.

<sup>1</sup> Permanente: Se usa en el sentido del movimiento independiente del tiempo; es decir, que las derivadas parciales con respecto al tiempo son iguales a cero. En el original, "stationär" (N. del T.)

<sup>2</sup> Obsérvese que Einstein evita usar la expresión "ríos rectos" y emplea, elegantemente, el eufemismo ríos "que no son curvos" (N. del T.)

<sup>3</sup> Es decir, como si se tratase de un fluido ideal (N. del T.)

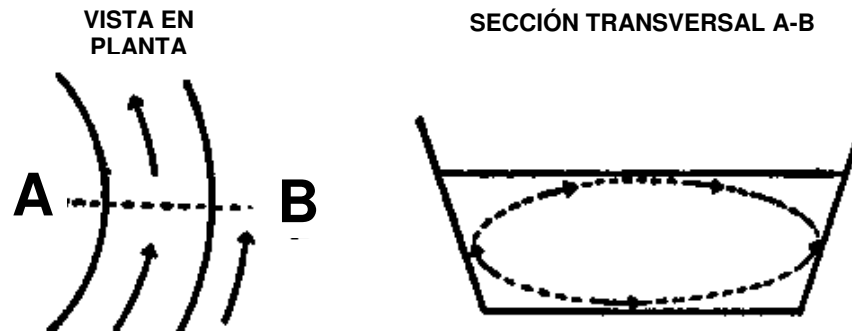


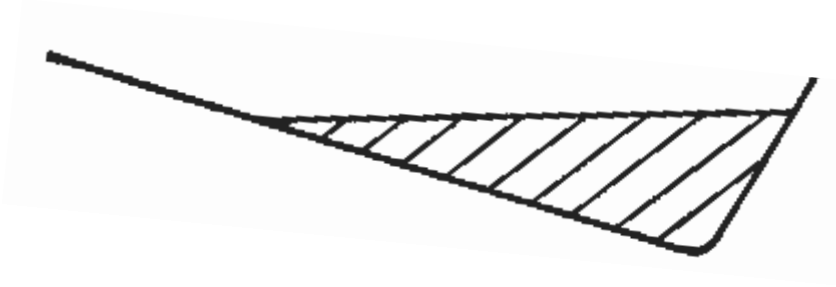
Fig. 2

La Hidrodinámica describe de la manera que se señala a continuación, el proceso mediante el cual se establece la distribución permanente de velocidades. En una distribución uniforme de la corriente (Flujo Potencial) todos los vórtices se agrupan en las paredes. De allí se desprenden y se mueven lentamente hacia el interior de la sección transversal de la corriente, distribuyéndose por sí mismos en una capa de creciente grosor. El gradiente de velocidades cerca del contorno disminuye gradualmente. Por acción de la fricción interna del líquido los vórtices en el interior de la sección transversal son gradualmente absorbidos y su lugar es ocupado por los nuevos que se forman en el contorno. Aparece entonces una distribución de velocidades casi-permanente. Lo importante para nosotros es que llegar a una distribución de velocidades permanente es un proceso lento. Esto se debe a que causas relativamente pequeñas, pero que operan constantemente, son capaces de ejercer una influencia considerable sobre la distribución de velocidades en la sección transversal.

Examinemos ahora qué clase de influencia, debida a una curva en el río o a la fuerza de Coriolis, como se muestra en la Fig. 2, ejercerá el movimiento circular sobre la distribución de velocidades en la sección transversal del río. Las partículas líquidas que se muevan más rápidamente estarán más alejadas del contorno, es decir, estarán en el centro de la superficie. Como consecuencia de la circulación, estas partículas de agua más rápidas son conducidas hacia la margen derecha, en tanto que a la margen izquierda llegan las partículas provenientes de la zona cercana al fondo que tiene velocidad particularmente pequeña. De acá que la erosión sea necesariamente mayor en la margen derecha que en la izquierda (en el caso de la Fig. 2). Se observa que esta explicación se basa fundamentalmente en que el lento movimiento circulatorio del agua ejerce una influencia considerable sobre la distribución de velocidades, debido a que el acomodo de las velocidades por fricción interna que contrarresta las consecuencias del movimiento circular es también un proceso lento.

Así queda aclarado el origen de la formación de los meandros. Pero, también pueden deducirse sin dificultad algunas particularidades importantes. La erosión no solo será comparativamente mayor en la margen derecha del cauce, sino también en la mitad derecha del fondo, de modo que habrá una tendencia a que se produzca un perfil como el de la Fig. 3.



**Fig. 3**

*Además, el agua superficial viene de la margen izquierda, y se mueve (especialmente en la margen izquierda) con menor velocidad que el agua que fluye a mayor profundidad; lo que ha sido observado en la realidad. Además, debe señalarse que el movimiento circular tiene inercia. En consecuencia, la circulación solo adquiere su máximo más allá de la sección de mayor curvatura, y lo mismo se aplica naturalmente a la asimetría de la erosión. De acá que al progresar la erosión se producirá un avance del meandro en la dirección de la corriente. Por último, mientras mayor sea la sección transversal del río, el movimiento circular será más lentamente absorbido por la fricción, y la longitud de onda del meandro aumentará con la sección transversal del río.*

Nota. (Los dibujos son los de la versión original del artículo)