

29
23



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Filosofía y Letras
COLEGIO DE GEOGRAFÍA

"La Teoría de la Relatividad y su Relación con la Geografía"

AGENCIAS DE TIPO

2 SET 19 1989

T E SECRETARIA DE ASISTOS ESCPLARES S
QUE PARA OPTAR AL TITULO DE:
LICENCIADO EN GEOGRAFIA
P R E S E N T A
GILBERTO NUÑEZ RODRIGUEZ



MEXICO, D.F. 1o.-IX-89

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

Introducción.

1.	El concepto de relatividad.....	1
1.1.	Los tipos de relatividad en el mundo físico.....	6
1.2.	La diferencia entre relativismo y teoría de la relatividad...14	
2.	La crisis de la física clásica.....	17
3.	Conceptos generales de la teoría de la relatividad.....	25
3.1.	La teoría de la relatividad especial.....	29
3.2.	La teoría de la relatividad general.....	38
3.3.	El continuo espacio-tiempo de cuatro dimensiones.....	44
4.	Los cambios radicales en la concepción del universo.....	54
5.	El concepto actual de geografía.....	61
5.1.	El objeto de estudio de la geografía.....	84
5.2.	Los principios de la geografía.....	100
6.	La relación de la teoría de la relatividad con la geografía..108	
6.1.	El objeto de la geografía desde el punto de vista relativista.....	123
6.2.	Los principios de la geografía desde el punto de vista relativista.....	134
6.3.	Aplicaciones de los principios relativistas a la geografía..137	
6.4.	Entrevistas.....	142
	Conclusiones.....	149
	Referencias bibliográficas.....	151

INTRODUCCION

Este trabajo surge de la preocupación constante acerca de los límites, el concepto y la identidad de la geografía, problema siempre presente a lo largo de la historia de esta disciplina.

Hoy más que nunca es importante el desarrollo de trabajos teóricos sobre los cuales se ha de fundamentar la geografía, con base en los métodos generales de la ciencia y la filosofía, y al mismo tiempo de acuerdo a sus propios principios, teniendo como objetivo central la consolidación de la geografía en una unidad de conocimiento lógica y rigurosamente articulada.

Actualmente la ciencia avanza a grandes pasos, y ha sido muy significativo el desarrollo de la teoría de la relatividad a principios del siglo XX, esta teoría ha implicado todo un cambio en la concepción del universo, ha transformado radicalmente el entendimiento del cosmos, y se refiere únicamente al estudio del movimiento, el espacio, el tiempo, la materia y la energía, asignándoles un carácter relativo, y teniendo como constante a la velocidad de la luz.

En general, se considera que los fundamentos de esta teoría —por su misma riqueza conceptual— pueden ser aplicados ampliamente en el conjunto de la ciencia, pero una condición indispensable debe ser el establecer el punto de vista, bajo que condiciones o en que medida podría ser aplicable al campo de la geografía. Al mismo tiempo se requiere establecer un concepto de referencia de tal disciplina, de su objeto de estudio y de sus principios, como punto de partida.

Con la intención de detectar los puntos de contacto de la teoría de la relatividad con la geografía y después avanzar sobre la forma en que podría ser aplicable, se han formulado como objetivos generales de esta investigación los siguientes:

- a) Delimitar los principios de la teoría de la relatividad.
- b) Conceptualizar a la geografía, su objeto de estudio y sus principios.
- c) Establecer las relaciones de la teoría de la relatividad con la geografía.
- d) Fundamentar la aplicación de la teoría de la relatividad en el campo de la geografía.

- Las hipótesis con las que se ha trabajado son las siguientes:
- a) Si la teoría de la relatividad es aplicable a nivel mesocosmos, es aplicable a la geografía, ya que a este nivel coincide el espacio geográfico como su objeto de estudio.
 - b) Si desde el punto de vista de la teoría de la relatividad el continuo espacio-tiempo no puede existir ni evolucionar aisladamente, el objeto de la geografía ha de tener como marco de referencia dicho continuo.

Para la realización de este trabajo, se procedió a reunir la información partiendo de lo general a lo particular, se inició con la selección de material referente a la filosofía de la ciencia, luego sobre la teoría de la relatividad y sobre teoría de la geografía, en especial con respecto al concepto, objeto de estudio y principios de esta disciplina. De cada texto se extrajeron las ideas seleccionando las que apoyaran el logro de los objetivos y la comprobación de las hipótesis, eliminando el material no requerido. Los datos básicos ya seleccionados se ordenaron y clasificaron de acuerdo al orden de los capítulos y las secciones de la obra.

Como apoyo al manejo de la argumentación se consideró necesario aplicar algunos cuestionarios a personas (generalmente maestros universitarios) con experiencia referente al tema central aquí tratado, y cabe expresar el agradecimiento a: Camilo Cisneros, Jorge Flores, Rogolfo Sánchez, Roberto Arteaga, Martha Cervantes, Víctor Manuel Martínez, Jorge Cervantes y Ramón Lucero, cuyos comentarios y sugerencias han sido valiosos para el desarrollo de las ideas sustentadas en este ensayo.

Desee expresar mi agradecimiento muy en especial tanto al P. Camilo Cisneros, como a la maestra Carmen Sámano, ya que sin sus consejos, comentarios y apoyo, no hubiera sido posible dar forma lógica a los juicios emitidos y a la estructuración del material utilizado.

CAPITULO 1

EL CONCEPTO DE RELATIVIDAD.

Para poder estudiar la medida en que se relacionan la teoría de la relatividad y la geografía, es necesario comenzar por aclarar algunas nociones fundamentales para el desarrollo de este estudio teórico.

El mundo físico, entendido como el conjunto de manifestaciones materiales y objetivas que constituyen el universo, se presenta ante el ser humano -siendo este un sujeto susceptible de conocimiento- bajo la forma de un enorme cúmulo de fenómenos, que en su infinita evolución provocan una estimulación a los sentidos u órganos sensoriales, tales fenómenos poseen una gran diversidad en sus formas de existencia.

Los fenómenos del mundo físico no se encuentran aislados, sino que constituyen un todo interrelacionado y concatenado, es decir, tienen una coexistencia estructural y funcional. Cada fenómeno se relaciona con otros fenómenos en mayor o menor medida dependiendo de su extensión en el espacio y en el tiempo, esta relación se manifiesta como reflejo de su evolución.

Desde este punto de vista se limita la posibilidad de conocimiento al ámbito de la percepciones sensoriales y del poder de abstracción de la mente humana, o sea, de la conciencia cognoscente.

Se considera que un conocimiento es verdadero cuando corresponde con la realidad, de acuerdo al sistema de conocimiento científico y filosófico, al respecto Hessen afirma que: "Un conocimiento es verdadero cuando su contenido concuerda con el objeto representado. Según esto, el concepto de la verdad es el concepto de una relación. Manifiesta una relación, la relación con el objeto del contenido del pensamiento, de la imagen. Pero el objeto no puede ser ni verdadero ni falso: en cierto modo, se encuentra más allá de la verdad y de la falsedad."¹

¹HESSEN, Johan. Teoría del conocimiento. Editores Mexicanos Unidos. 1985, p. 27.

El conocimiento científico constituye una unidad, que se establece con la relación sujeto-objeto, así Russell sostiene que: "En el estado actual de la ciencia, ni los hechos ni las hipótesis están aislados: existen dentro del cuerpo general del conocimiento científico. El significado de un hecho es relativo a dicho conocimiento."²

La importancia de los hechos significativos en la ciencia (objetos fundamentales del conocimiento), ha sido variable a través de la historia, ya que mientras en unas épocas han tenido un gran valor en el desarrollo de la actividad científica, en otras épocas se han desvalorizado o han desaparecido, ejemplos de ello son: el flogisto, el éter universal, la piedra filosofal, etc. conceptos fundamentales en el pasado para la física y la química, pero que hoy son obsoletos.

Por otra parte, conceptos contenidos en las teorías relativista y cuántica constituyen la explicación más satisfactoria sobre la dinámica del cosmos, teorías que han superado los límites de la física newtoniana, y que aparecieron con el siglo XX, provocando una gran revolución científica.

"Decir que un hecho es significativo, en ciencia, es decir que ayuda a establecer o a refutar alguna ley general; pues la ciencia, aunque arranca de la observación de lo particular, no está ligada esencialmente a lo particular, sino a lo general."³ Ya que son los fundamentos generales los que le dan estructura, no obstante la vital importancia del estudio de los hechos particulares o aislados para ampliar el conocimiento.

La ciencia, en su último ideal, consiste en una serie de proposiciones dispuestas en orden jerárquico; se refieren las del nivel más bajo en la jerarquía a los hechos particulares, y las del más alto, a alguna ley general que posee un carácter universal. Los distintos niveles en la jerarquía tienen una doble conexión lógica: una hacia arriba y otra hacia abajo. La conexión ascendente procede por inducción, y la conexión descendente, por deducción; inducción y deducción son la base de los métodos generales de análisis y síntesis.

² RUSSELL, Bertrand. La perspectiva científica. Ariel. 1969, p. 48.

³ *Ibid.* pp. 48-49.

De lo anterior se deduce que, tanto el mundo físico, como el conocimiento que de él se obtiene en la mente humana, en su evolución implican la noción de relación, entendida como la acción de vincularse unos fenómenos con otros, o bien con un cuerpo de referencia, cada parte —llámese elemento, fenómeno, objeto, etc.— del universo tiene relaciones mayores o menores con el conjunto. El hombre al percibir la existencia material del universo y al autopercebirse establece una relación, de igual manera cuando transforma al mundo, se relaciona con él en un proceso dinámico que implica múltiples y variadas relaciones.

La figura N° 1 ilustra esquemáticamente como es que la percepción, experimentada en base a estímulos externos y estímulos internos, se desarrolla mediante el establecimiento de relaciones, donde las partes fundamentales son el medio externo, los órganos sensoriales y el medio interno, estas en su conjunto constituyen la base fisiológica del proceso del conocimiento.

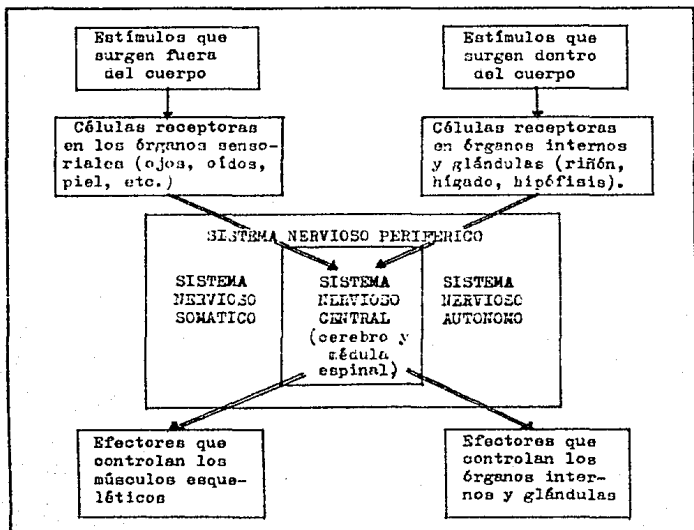


FIGURA N° 1. Plano global del sistema nervioso humano.

Ya que todos los procesos de la naturaleza implican múltiples relaciones, es importante el análisis de las nociones de lo absoluto y lo relativo; dado que a través de la historia de la ciencia y la filosofía, son numerosos los casos de intelectuales, que intentan dar una explicación del universo desde el punto de vista de la propia concepción que de él tengan, de una manera excluyente, es decir, se ha pretendido llegar a la universalidad por una vía única y exclusiva, y siendo que para la ciencia moderna no existen elementos del universo, ni nociones de él, independientes del todo concatenado e interrelacionado que lo constituyen. No olvidar que nada existe aislado e inmutable en el cosmos, solo aislamos mentalmente o abstraemos los elementos o las partes fundamentales para un estudio específico de la realidad física.

Como ya se ha visto, todas las manifestaciones de la existencia del universo (incluyendo a la mente humana) evolucionan mediante influencias recíprocas (interrelaciones e interacciones), estas dos nociones se refieren a la estructura y a la función de tales manifestaciones, que en la actualidad han sido reducidas a cinco categorías básicas, que son las siguientes: ESPACIO, TIEMPO, MATERIA, ENERGIA y MOVIMIENTO, mismas que subyacen a toda la diversidad de manifestaciones evolutivas del universo, transformándose unas en otras.

El universo tiene una base material, evoluciona en el tiempo con el movimiento, esta evolución se imprime en las transformaciones del espacio, que a su vez implican transferencias de materia y energía, y tiene entonces, como principal característica el cambio, la mutación.

Estas categorías se interrelacionan e interactúan, es decir que tienen una coexistencia dinámica.

Lo relativo se refiere a este devenir, a esta infinita evolución, donde nada es estático, nada está aislado, nada es absoluto, todo está sujeto a una relación, todo se condiciona mutuamente, a este respecto, tal vez el método dialéctico sea la posición más objetiva, ya que en él se considera lo absoluto y lo relativo constituyendo una unidad, en la que estas dos nociones coexisten, negándose o excluyéndose de una manera correspondiente. "Lenin formuló la teoría de la verdad objetiva, relativa y absoluta, y señaló su intervinculación dialéctica"⁴

⁴SPIRKIN, A.G. Materialismo dialéctico y lógica dialéctica. Grijalbo, 1966, p. 29.

Lo relativo es por definición, lo contrario de lo absoluto, lo que no posee subsistencia propia, en este sentido lo relativo es lo que consiste en función de una relación, dependiente y condicionado.

Por oposición, lo absoluto es todo aquello que excluye cualquier vínculo, es lo que no depende de nada, que no es condicionado por nada externo a sí mismo, que no se relaciona.

Lo absoluto se define como lo independiente, lo desligado (ab-solutum) y de ello se deriva que sea considerado como lo perfecto e inmutable.

Como incondicionado, lo absoluto es el tema fundamental de la metafísica -que es un método de la filosofía-, en cuanto averiguación de lo que solo depende de sí mismo.

Es importante señalar que históricamente el concepto de lo absoluto se ha desvalorizado, ha perdido consistencia, en el pasado fue usado para justificar las facultades ilimitadas e inapelables de líderes y clérigos, sobre todo durante la época en que el feudalismo predominó en Europa, el absolutismo fue su manifestación ideológica, a través de la cual se instituyó como sistema político.

De los párrafos anteriores se desprende como consecuencia, que la relatividad es la forma de expresión de la realidad como un conjunto de relaciones, como el eterno devenir evolutivo del universo, esta calidad de lo relativo, lo condicionado, alterna con lo absoluto, lo incondicionado, al ser conocido y estudiado por el hombre en un lugar y un momento determinado con respecto a un marco de referencia aportado por el sistema del conocimiento científico y filosófico. Cada objeto, cada fenómeno evoluciona dialécticamente, en una sucesión que manifiesta su dualidad objetiva, absoluta-relativa.

La realidad física se manifiesta bajo una infinita gama de formas, las cuales se pueden englobar en términos generales, bajo los diversos tipos de relatividad, que son:

- A) RELATIVIDAD FISIOLÓGICA.
- B) RELATIVIDAD PSICOLÓGICA.
- C) RELATIVIDAD FÍSICA.

Estos tipos de relatividad, a pesar de su gran importancia en el contexto del conocimiento científico, han de ser descritos en la siguiente sección con la finalidad de delimitar (abstraer) a la llamada relatividad física, y de excluir los elementos no necesarios para el

estudio de la teoría de la relatividad, teoría que a pesar de explicar el efecto tan importante que tienen sobre las personas —consideradas como observadores—, anula totalmente tal efecto excluyendo todo lo llamado "relativo", llegan a una formulación de las leyes físicas, que no dependen en ningún sentido de las circunstancias (relativas) del observador.

1.1. LOS TIPOS DE RELATIVIDAD EN EL MUNDO FÍSICO.

La relatividad del mundo físico existe aun sin la presencia de seres capaces de percibir sus múltiples manifestaciones, una de las virtudes de la teoría de la relatividad es darle su valor a las diferencias entre los observadores, estudiarlas para excluirlas y proponer un método para el estudio de los fenómenos mismos, exentos de la introducción de elementos subjetivos por parte de los observadores.

Al respecto Russell afirma que: "Cuando dos observadores perciben lo que ambos consideran como un suceso, entre sus percepciones hay ciertas semejanzas y también ciertas diferencias. Las diferencias quedan oscurecidas por las exigencias de la vida diaria, ya que desde un punto de vista del problema, como norma general, carecen de alguna importancia."⁵ Es necesario señalar que el punto de vista tanto de físicos, matemáticos y filósofos, etc. puede ser variable, ya que una categoría del universo puede ser conceptualizada de diferentes maneras sin hacer menoscabo de la objetividad de tales concepciones.

Las diferencias relativas entre unos observadores y otros, no solo son físicas, sino que también pueden ser fisiológicas y psicológicas, en este sentido, uno de los graves problemas de la ciencia es el que aun en la actualidad no se haya logrado una universalidad en el uso del lenguaje científico, y tal condición no se ve muy próxima.

Además de las manifestaciones relativas de la naturaleza, durante el proceso del conocimiento, este está sujeto a factores tales como las diferencias de talento, motivaciones, talante, intereses, agudeza sensitiva, etc. por parte de cada sujeto, y se engloban como variables de la relatividad psicológica y fisiológica respectivamente.

⁵

RUSSELL, Bertrand. ABC de la relatividad. Ariel, pp. 16-17.

Tanto la física, como la psicología y la fisiología desde sus ángulos respectivos y con métodos propios resaltan en que aspectos la percepción que un hombre tiene de determinado acontecimiento, difiere de la de otros, bajo la influencia de los factores mencionados que propician las diferencias entre ellos, para la formación de la imagen de la realidad, propia de cada uno.

Para Bertalanffy, el problema de la relatividad en el conocimiento ocupa un lugar central, "Las categorías del conocimiento, del conocimiento cotidiano tanto como del científico, que en última instancia es un afinamiento de acúél, dependen, primero, de factores biológicos; segundo, de factores culturales; en tercer lugar, a pesar de esta maraña demasiado humana, es posible en cierto sentido el conocimiento absoluto, emancipado de las limitaciones humanas."⁶ Esto quiero decir que, no obstante el hecho de que el conocimiento se encuentra sujeto a múltiples y variados factores, es posible sostener la idea de que se puede llegar a un conocimiento absoluto, sin negar su misma relatividad, de allí la interrelación dialéctica del proceso cognoscente.

A continuación se describen en términos generales los tipos de relatividad mencionados.

A) RELATIVIDAD FISIOLÓGICA: Se refiere a que mediante los órganos de los sentidos, el hombre establece relación con el medio, a esto se le llama percepción sensorial. El proceso perceptivo, no se efectúa de igual manera en todos los seres humanos, en virtud de que existe una gran variabilidad en cuanto a la agudeza (nivel de captación de la información) por parte de los sentidos, variabilidad que se puede deber tanto a condiciones genéticas como accidentales. Esto a pesar de que el organismo humano posee una alta especialización para dar respuesta a los estímulos.

Por otra parte, la especialización del organismo humano interactúa con la gran variabilidad de respuestas ante los estímulos internos y externos, gracias a la función que realiza el aprendizaje y la memoria modulando la intensidad y la frecuencia de dichas respuestas, en un complejo proceso de integración.

⁶ BERTALANFFY, Ludwig. Teoría general de los sistemas. Fondo de cultura económica. 1987 p. 237.

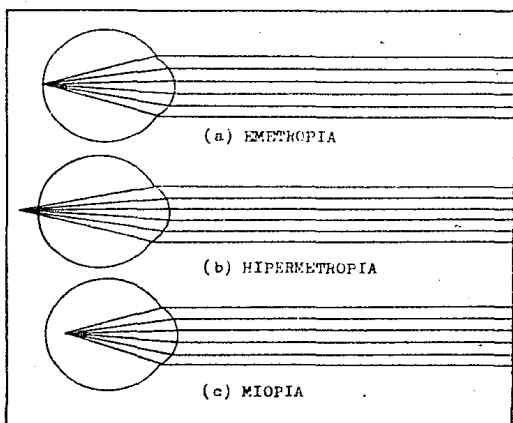


FIGURA N° 2. Proceso de la visión: Los rayos luminosos paralelos enfocan sobre la retina en el ojo emétrope (normal), atrás de ella en el ojo hiperemétrope, y delante de ella en el ojo miope.

En la figura N° 2 se observa como el ojo humano en condiciones de refracción normales (a), puede hacer la acomodación para enfocar a diferentes distancias, de manera que los rayos luminosos paralelos puedan enfocar sobre la retina, a esto se le llama emetropía. La figura (b) indica como en el ojo hiperemétrope los rayos paralelos enfocan detrás de la retina, causando que la persona no pueda ver con claridad los objetos muy cercanos, este problema se corrige con el uso de lentes convergentes. En la figura (c) se observa como en la miopía, los rayos luminosos enfocan delante de la retina, y esto provoca que la persona no pueda enfocar bien los objetos distantes, se corrige este defecto mediante la utilización de lentes de tipo divergente.

Los casos (b) y (c) indican como es que, debido a los problemas mecánicos en el ojo, una persona puede tener una mayor o menor agudeza visual, al igual que este tipo de trastornos, puede haber ceguera a determinados colores, astigmatismo, etc.

Por otra parte, se pueden presentar problemas en los demás órganos sensoriales, provocando diferencias entre lo que una persona ve, oye, huele, etc., con respecto a las demás, y por lo tanto, se relativizan las percepciones, en este caso por efecto de las mismas limitantes de estos órganos, o sea, por diferencias de agudeza.

Por último, es importante señalar que, la ciencia moderna ha creado los medios para reducir al máximo o eliminar este tipo de problemas, por ejemplo, en el caso de una persona ciega, que ha perdido el más importante órgano de relación con el medio externo, puede desarrollar una mayor sensibilidad en otros sentidos (órganos), como sucede con el aprendizaje de lenguajes basados en la sensibilidad táctil, o bien a través del trasplante de estructuras dañadas como el cristalino, la córnea, la retina, etc.

B) RELATIVIDAD PSICOLÓGICA: Consiste en que no todos los hombres (personas u observadores) poseen un mismo nivel en cuanto a talento, idiosincrasia, motivaciones, carácter, conocimientos, etc., y esto se debe a la maravillosa capacidad de la mente humana para responder ante los estímulos tanto internos como externos de una manera que puede ser meditativa, juiciosa, calculada, e incluso imaginativa y previsora, esta capacidad ha sido lograda a través de siglos de evolución y además se enriquece cada día con el aprendizaje.

Una conversación hecha en una lengua que conocemos, se captará bien, es decir, tendrá sentido y significado; por el contrario, conversación diferente hecha en voz alta, pero en una lengua desconocida, puede pasar totalmente desapercibida, o bien puede llamar la atención por lo "raro" que parezca. Por otra parte, al estar un grupo de personas ante un paisaje, se hacen evidentes las diferencias psicológicas ya mencionadas, ya que unos se fijarán en dicho paisaje de acuerdo a la forma estética que les represente, a otros les inspirará tranquilidad, algunos otros se fijarán tal vez en una cascada o un bosque pensando en la energía que se ellos se pueda obtener, y otros tantos ni estarán atentos en dicho paisaje.

Se han hecho importantes trabajos en los que se pone de relieve la importancia que tiene el factor subjetivo sobre el entendimiento, y la representación del entorno para las poblaciones, de acuerdo a la idea que de este tengan.

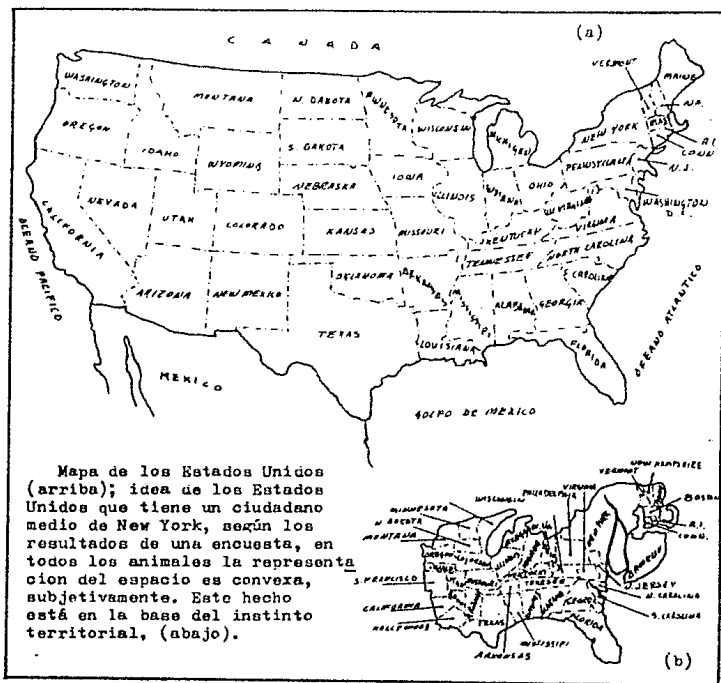


FIGURA N° 3. Representación real (a) y subjetiva (b) del espacio.

La figura N° 3 muestra en la parte superior un mapa de los Estados Unidos, donde la ordenación, la proporción, las distancias, se pueden considerar normales -digamos-, el mapa tiene una precisión objetiva aceptable; en la parte inferior se ilustra un "mapa mental" concebido por un ciudadano medio de la ciudad de Nueva York, en éste mapa se observa la introducción de elementos subjetivos producidos por la noción propia de las distancias espaciales, las distribuciones, las ordenaciones, de acuerdo a los hechos significativos propios, a las motivaciones, a la concepción del espacio de cada persona o de cada población.

De igual manera, con respecto al paisaje mencionado, por ejemplo, diferentes intelectuales pueden valorar el contenido de este desde muy diversos puntos de vista, por ejemplo, para el idealista el paisaje puede ser solo una abstracción de la conciencia, o bien, la obra de un ser supremo, en tanto que para el materialista es una forma de expresión de la existencia material y objetiva; por otra parte, para algunos será importante el paisaje como un todo integrado o bien, para otros será descompuesto en sus partes, con el fin de analizarlo, etc.

Se deriva de lo anterior que, por una parte —como es bien sabido— la relatividad psicológica enriquece las concepciones que el hombre puede tener de la realidad, pero por otra, la introducción de elementos subjetivos produce la deformación de ella misma, en la concepción de las diferentes personas. De allí la importancia fundamental del proceso de sistematización del conocimiento en la ciencia y la filosofía.

C) RELATIVIDAD FISICA: Es la que se presenta durante el curso propio o "normal" de la naturaleza, es decir, sin la intervención de ningún ser capaz de percibirla y deformarla. Incluye tanto el tipo de diferencias en los fenómenos respecto a la perspectiva (entendida como la disciplina que estudia las diferencias que producen en la representación de los objetos, tanto la posición angular, como la distancia del punto de vista del observador); así como el tipo de diferencias de los fenómenos "en sí mismos", o sea, de las características propias de unos fenómenos con respecto a otros en su evolución, y en su dinámica.

Las diferencias físicas entre dos observadores seguirán existiendo aun si ellos son reemplazados por una cámara o un magnetófono y pueden reproducirse en un film o en un gramófono. Si los dos hombres oyen hablar a un tercero y uno de ellos está más cerca del que habla, oírá los sonidos más altos y un poco antes de que pueda oírlos el segundo observador, es evidente que estas diferencias se deben a las distancias relativas de los observadores con respecto a la fuente del sonido.

Por otra parte, si dos hombres ven caer un árbol, lo ven desde ángulos diferentes, desde la posición relativa de cada uno de ellos con respecto al árbol. Lo anterior evidencia que de acuerdo a cada posición puede ser detectado un diferente orden de acontecimientos, a pesar de constituir un mismo fenómeno.

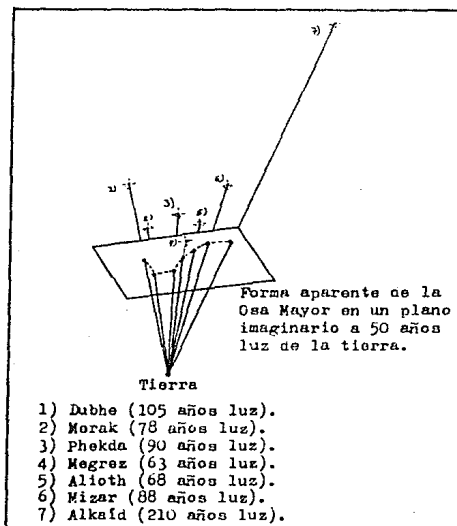


FIGURA N° 4. Distancias relativas estelares.

De acuerdo a la escala astronómica se puede observar que, las estrellas son verdaderas, pero las constelaciones son invención del hombre. Las estrellas de una constelación parecen estar cerca unas de otras, pero en realidad están a varios años luz de distancia (un año luz corresponde a poco menos de 9.5 billones de kilómetros). El ejemplo de la figura N° 4 muestra las verdaderas distancias entre la tierra y las estrellas de la Osa Mayor, así como los nombres con que las bautizaron los árabes.

La magnitud (tamaño y brillo aparente) de las estrellas está dada por su posición relativa con respecto al punto (lugar) desde el que se observadas. Para un observador sobre la tierra, "las estrellas aparecen proyectadas sobre la bóveda celeste, y en su distribución no se nota ningún orden determinado."⁷ El hombre las ha agrupado y nombrado de una manera arbitraria.

⁷GALLO, J., ANFOSSI, A. Cosmografía. Progreso. 1980, p. 243.

Con su perspicacia típica, al respecto, Russell establece que: "cosas como las diferencias de perspectiva o de tamaño aparente, uebias a la diferencia de distancia, no son atribuibles al objeto. Pertenecen solamente al punto de vista del espectador."⁸ Y prosigue, delimitando el campo propio de la física relativista, afirmando que "La física intenta informar sobre lo que ocurre en el mundo físico, y no sólo sobre las percepciones privadas de cada uno de los observadores. La física, pues, ha de interesarse por aquellos aspectos que un proceso físico presenta a todos los observadores. Tales aspectos sólo pueden considerarse como pertenecientes al mismo hecho físico. Ello exige que las leyes de los fenómenos hayan de ser las mismas, tanto si se describen tal como aparecen ante un observador o como ante otro. Este único principio es el motivo generador de toda la teoría de la relatividad."⁹

De lo anterior se desprende que a la física le interesan las diferencias de los fenómenos que forman parte del curso ordinario de la naturaleza. Cuando una persona dispara un fusil, las personas que no están muy próximas a la primera, ven el fogonazo antes de oír la detonación. Ello no se debe a ningún defecto de los sentidos, sino a que el sonido avanza más despacio que la luz; tampoco a ninguna diferencia de criterio o idiosincrasia de los observadores. Aquí es importante señalar que la distancia interviene en el sentido de que al aumentar ésta nos es más fácil distinguir la diferencia, que si se está muy cerca.

La velocidad de la luz es tan rápida que, desde el punto de vista de los fenómenos que ocurren en la superficie terrestre se puede considerar como instantánea. Todo lo que podemos ver en la tierra, sucede prácticamente en el momento en que lo vemos, pero cambiando de escala, sucede que, —en un segundo la luz recorre aproximadamente 300,000 Km.— un haz de luz tarda en llegar del sol a la tierra unos ocho minutos, debido a las grandes distancias que separan a estos dos astros. Más aun, desde las estrellas, —según se ha calculado— la luz puede tardar en llegar desde cuatro años hasta varios miles de millones,

⁸ RUSSELL, Bertrand. ABC de la relatividad. Ariol. p. 19.

⁹ Ibid. p. 25.

lógicamente debido a la magnitud de tales distancias, en virtud de ello se ha demostrado la relatividad de la simultaneidad, cosa que no es muy evidente a escala de los fenómenos de la superficie terrestre (geográficos), sino considerando magnitudes y dimensiones cósmicas.

Es importante considerar el concepto de "convencionalismo" en la ciencia, ya que, por ejemplo, un astrónomo interesado en el estudio del sistema solar considera al sol como fijo, y piensa que todo astro realiza los movimientos de rotación y translación alrededor del sol, pero otro astrónomo interesado en el movimiento del universo estelar puede añadir a este movimiento el del sol en relación con el movimiento medio de las estrellas. "No se puede afirmar que una de estas formas de estimar el movimiento sea más correcta que la otra. Cada una es perfectamente correcta desde el momento en que se le asigna un cuerpo de referencia."¹⁰ Este punto especialmente importante se desarrollará con mayor detalle posteriormente con respecto a las teorías sobre la posición y movimiento de la tierra, en su relación con otros cuerpos o astros, estas son las teorías: Ptolomeica, Copernicana y la llamada Einsteiniana.

Aclarado lo anterior, se procede a diferenciar el relativismo como corriente filosófica, y la teoría de la relatividad, que como ya se vió, estudia a la naturaleza desde el punto de vista de la relatividad puramente física, haciendo abstracción de los elementos que dependen de los observadores y ganando así valor en cuanto a objetividad.

1.2. LA DIFERENCIA ENTRE RELATIVISMO Y TEORÍA DE LA RELATIVIDAD.

El relativismo es una corriente filosófica relacionada con la posibilidad de conocimiento. Afirma que no existe alguna verdad que sea universalmente válida, sino que toda verdad es relativa. Mientras que: "el escepticismo sostiene que no existe verdad alguna. El subjetivismo y el relativismo no son tan radicales. Con ello se afirma que sí existe una verdad; sin embargo, tal verdad tiene una validez limitada."¹¹

¹⁰ RUSSELL, Bertrand. ABC de la relatividad. Ariel. p.25.

¹¹ HESSEN, Johan. Teoría del conocimiento. Editores Mexicanos Unidos. 1985, p. 43.

Por su parte, el subjetivismo limita la validez de la verdad al sujeto que conoce y juzga, o sea que, limita el conocimiento a condiciones internas (del sujeto), mientras que el relativismo sostiene que los factores que determinan el conocimiento humano son de origen externo, factores del tipo de la influencia del medio, de la época en el pensamiento, la filiación a un determinado círculo cultural, el momento histórico, etc. Un problema grave en principio en el relativismo es el intento o la pretensión de asignar un carácter exclusivamente relativo a la verdad y afirmar que "todo es relativo", pero desde el principio se introduce un carácter absoluto en su idea del "todo" como una afirmación excluyente.

Si bien, es cierto que, la verdad y el conocimiento mismo no son metas absolutas, a las que se llega definitivamente; sino en un proceso interminable de aproximaciones sucesivas como lo demuestra el mismo desarrollo de la ciencia y la filosofía, donde el conocimiento se retroalimenta con los nuevos descubrimientos produciéndose cambios en los que las nuevas expresiones de esta evolución representan a sus antecesoras, pero en un nivel de desarrollo más elevado.

Al respecto, es interesante la posición de Spirkin, que sostiene un punto de vista dialéctico respecto al proceso del conocimiento, "El conocimiento humano no puede reproducir de una vez y por completo y agotar el contenido del objeto. Toda teoría viene también condicionada históricamente porque encierra no la verdad completa, sino la verdad relativa. Pero el pensamiento humano puede existir solamente como pensamiento de generaciones pasadas, presentes y futuras, y en este sentido las posibilidades del conocimiento son infinitas."¹²

Tal vez sea necesario añadir que el mismo conocimiento humano es incapaz de crear las condiciones limitantes para dichas posibilidades infinitas, que considera Spirkin, debido al peligro inminente de una guerra total, donde los frutos del trabajo de varios siglos de vida en civilización pueden reducirse a cenizas.

Posteriormente Spirkin añade que "Partiendo del reconocimiento de la relatividad de los conocimientos en el sentido del convencionalismo histórico de los límites de aproximación al conocimiento completo,

¹² SPIRKIN, A.G. Materialismo dialéctico y lógica dialéctica. Grijalbo. 1966, p. 45.

el materialismo dialéctico rechaza las conclusiones extremadas del relativismo, según el cual el carácter del conocimiento humano hace imposible la verdad objetiva."¹³ De acuerdo a lo anterior se puede concluir que es posible sustentar la relatividad del mundo material y objetivo, también la relatividad del conocimiento, pero no en el sentido del relativismo filosófico, sino de acuerdo a la concatenación dialéctica de todos los procesos del universo, incluyendo a la mente humana, el relativismo niega la universalidad del conocimiento, y esto implica negar la validez del mismo como sistema filosófico que aspira llegar a la verdad.

Por otra parte, la teoría de la relatividad surge en el campo de la física a principios del siglo XX, esta teoría, estudia la esencia relativa de la naturaleza para abstraer la relatividad puramente física y llegar a una formulación de las leyes de la naturaleza, exenta de los factores subjetivos, que no dependa en ningún sentido de las circunstancias del observador.

Es cierto que estas circunstancias, según se ha comprobado, tienen mayor efecto de lo que anteriormente se creía sobre el observador.

Pero al mismo tiempo Einstein -creador de la teoría de la relatividad- demostró la manera de anular totalmente este efecto, de aquí parte todo lo que hay de sorprendente en su teoría.

Antes de proceder a describir las condiciones que propiciaron la revolución relativista en el siguiente capítulo, hay que establecer que el supuesto del que se parte en este breve ensayo, consiste en que la relatividad en el mundo físico es real, es objetiva, de la misma manera hay relatividad en el mundo de las ideas, o sea, en el pensamiento y en el conocimiento como productos de la mente, esta última solo se estudia y es abordada con el objetivo de delimitar a la relatividad de las leyes de la naturaleza, y establecer una equivalencia en la dinámica y evolución de todos los sistemas físicos.

¹³ SPIRKIN, A.G. Materialismo dialéctico y lógica dialéctica. Grijalbo. 1966, p. 45.

CAPITULO 2

LA CRISIS DE LA FISICA CLASICA.

Una vez que se ha establecido que existen diversas formas de relatividad en la naturaleza y en el conocimiento que el hombre ha construido de ella, y una vez que se ha aclarado que, desde el punto de vista de la teoría de la relatividad solo importa la relatividad puramente física, se procede a describir los antecedentes o las condiciones que prepararon el terreno para el desarrollo de esta teoría.

Como se ha visto, el conocimiento evoluciona, al igual que lo hacen los procesos de la naturaleza, no es estático, es al contrario mutable, y este fenómeno incluye al conjunto de todas las ciencias.

En este caso, en el campo de la física, se puede ver que muchos de los nuevos descubrimientos obligan a la revisión de las teorías existentes, de acuerdo al propio desarrollo acelerado de esta ciencia, sobre todo desde principios del siglo XX, esto le confiere a la física un carácter de ciencia en continua renovación, y le ha reservado una posición preeminente en el contexto del conocimiento científico.

"Como intento de desentrañar los misterios de la naturaleza, se puede considerar que la física es tan antigua como la propia humanidad, sin embargo, durante siglos, los conocimientos de física fueron especulativos, llegando a conclusiones que poco o nada tenían de científicas".¹⁴ De ahí que la física, -entendida como el cuerpo de teorías y métodos que estudian a la materia en sus cambios de estado y movimiento sin alterar su naturaleza- puede ser considerada como una ciencia moderna, cuyo nacimiento puede ubicarse no más allá del siglo XVI.

¹⁴ PUIGDOMENECH, Pedro. Los caminos de la física. Salvat. 1986, p.

Galileo Galilei (1564-1642) descubrió la trascendencia de que la naturaleza se puede expresar mediante el lenguaje matemático, dando así lugar al nacimiento de la física como ciencia, además del invento de instrumentos tales como el termómetro y el telescopio, aplicó una sistemática científica a sus investigaciones sobre el movimiento de caída de los cuerpos, expresando los resultados mediante sencillas relaciones matemáticas, que permiten su aplicación a todos los cuerpos y prácticamente en todas las circunstancias en que tenga lugar dicha caída. Se conoce a Galileo como el padre de la física.

Isaac Newton (1642-1727) nació en Inglaterra, su obra se extiende prácticamente por todas las ramas de la física, ampliando la obra de su predecesor italiano, da forma matemática a las relaciones que unen el movimiento de los cuerpos con la causa que los produce -esto es, las fuerzas-, formuló la ley de la gravitación universal, y fue el primero en proponer una teoría sobre la naturaleza de la luz y en exponer las leyes de la propagación de ésta, sentando las bases que permitieron el desarrollo de la física en casi todos sus campos.

La influencia de Galileo y Newton en la física y en toda la ciencia ha sido enorme, ya que "Hasta llegar al siglo XX, la física no es, en ciertos campos, sino un desarrollo del programa propuesto por Galileo y Newton, al que van enriqueciendo con nuevas leyes infinidad de grandes científicos."¹⁵

Pero el cuerpo de la física no está reducido al estudio de la luz y de las fuerzas comenzado por Galileo y Newton; así, durante el siglo XIX se amplía con los realizados sobre la electricidad y el magnetismo -que durante siglos habían sido estudiados por separado-, culminando con los trabajos de Maxwell (1831-1879), que unen de forma definitiva estos dos conceptos fundamentales. Se considera que los trabajos de Maxwell constituyen la culminación de la física clásica -que había nacido a fines del siglo XVI; ya que a finales del mismo siglo XIX comienzan a surgir una serie de problemas insolubles con las leyes clásicas y que llevarían a formular nuevas teorías, como la física cuántica y la física relativista, que forman la estructura de lo que se denomina física moderna.

¹⁵ PUIGDOMENECH, Pedro. Los caminos de la física. Salvat. 1980, p.

Sin embargo, los conceptos definidos en esa época, tales como: fuerza, energía, temperatura, movimiento, etc., han sido y siguen siendo básicos para la comprensión del conjunto de la física, tanto clásica como moderna, y como se verá más adelante, estas condiciones iniciales del desarrollo de la física prevocaban con el tiempo a raíz de sus progresivos avances, una revolución que sacudiría desde sus bases a esta ciencia.

El movimiento de caída libre ya había sido estudiado por Galileo, quien solamente había descrito dicho movimiento, sin explicar la causa que lo producía. Por su parte Newton, culmina la obra formulando las leyes que describen tales movimientos relacionándolos con la causa que los origina, esto es con las fuerzas. Según Newton, la causa única de todo movimiento es una fuerza. Su ley de la gravitación universal explica como la simple presencia de dos cuerpos da lugar a que entre ellos se produzca una interacción que origina una fuerza, tal interacción depende de la masa de los cuerpos y de la distancia que los separa.

En 1687, Newton publicó un libro llamado *Naturalis Principia Mathematica*, en el que aparecían formuladas sus tres leyes de la mecánica.

La teoría newtoniana de la gravitación hizo que la idea de que existe materia en todo el universo cayera en descrédito. Newton y sus discípulos pensaban que la luz se debía a las partículas reales que se desprenden de su fuente originaria. Pero cuando esta idea (teoría corpuscular) de la luz perdió valor y se demostró que la luz constaba de ondas, renació la idea de un medio que sustentara su propagación, este medio era llamado éter. Esta idea se hizo más respetable al comprobarse que el éter jugaba el mismo papel en los fenómenos electromagnéticos, que en la propagación de la luz.

Se esperaba incluso que los átomos pudieran convertirse en una especie de movimiento del éter. En esta etapa, la concepción atómica de la materia en conjunto no tenía un futuro muy promisorio. Pero la física moderna ha dado pruebas de la estructura atómica de la materia ordinaria.

El problema de la naturaleza de la luz fue, a la vez, uno de los primeros que se planteó la ciencia física.

Por otro lado, la teoría newtoniana de la gravitación suponía que esta se propagaba por el éter en forma instantánea, es decir mediante un efecto a distancia, esta idea fue superada con la introducción del concepto de campo en la teoría electromagnética de Maxwell.

Newton propuso una serie de teorías respecto a los fenómenos luminosos conocidos hasta su época, las cuales se conjugaron como la teoría corpuscular de la luz, (siente la luz procedente de una fuente luminosa, estaba compuesta de pequeñas partículas o corpúsculos que se propagarían por el aire en línea recta a una altísima velocidad formando los rayos luminosos).

Christian Huygens (1629-1695), propuso una teoría acerca de la luz, que era contraria a la corpuscular de Newton, ya que proponía una naturaleza ondulatoria de la luz, similar a las ondas en las que se desplaza el sonido. Con la teoría ondulatoria se podía demostrar al igual que con la corpuscular, todos los fenómenos luminosos que se conocían, sin embargo, debido a su escaso prestigio personal en comparación con el de Newton, no tuvo una amplia aceptación inicial.

Con el descubrimiento de las interferencias y la difracción que eran fenómenos no explicados con la teoría de Newton, la teoría ondulatoria ganó progresivamente valor entre los científicos.

Cuando la propuesta de Huygens era comúnmente aceptada, Heinrich Hertz (1857-1894), describió el efecto fotoeléctrico, después de que anteriormente se había valorizado por los estudios de Hertz, este efecto no estaba cubierto por la teoría ondulatoria, lo anterior planteó la necesidad de explicar estos fenómenos de una manera más desarrollada, y en la actualidad, es universalmente aceptada la concepción derivada de la mecánica cuántica de Max Planck (1858-1947), aceptando una cualidad onda-partícula con respecto a la naturaleza de la luz.

La aceptación de la luz como una onda electromagnética representaba para los físicos del siglo XIX un importante problema. En efecto; para que la luz o cualquier onda pueda transmitirse es necesario que exista un medio, cuyas partículas vibren al paso de las ondas. Así, el sonido se propaga al vibrar las partículas del aire con el paso de una onda sonora, y la caída de una piedra en un estanque produce una onda, ya que las partículas del agua vibran a su paso.

La luz, sin embargo, se propaga perfectamente por el espacio interestelar, en el que se pensaba que no existía materia alguna, lo cuál parecía contradecir a la teoría de la luz como una onda electromagnética.

Para solucionar este problema, los físicos del siglo pasado, propusieron como hipótesis de trabajo, que todo el espacio estaba lleno de una especie de fluido invisible e inmaterial al que denominaron éter. Desde el momento de la formulación de esta hipótesis fueron muchos los experimentos que se realizaron para intentar demostrar su existencia; Sin embargo, ninguno de ellos alcanzó el éxito esperado. No obstante, estos experimentos serían determinantes para el desarrollo de la revolución relativista.

Con la aparición de las ondas electromagnéticas, la física clásica tuvo a su disposición un método decisivo para comprobar el modelo newtoniano del espacio y el tiempo; al mismo tiempo que surgió la posibilidad de emplear la óptica -el estudio del movimiento de las señales luminosas- para medir la velocidad de los cuerpos en el espacio. Y el éxito de tal posibilidad iba a depender fundamentalmente de la concepción que Maxwell había formado del éter: una especie de fluido que llenaba todo el espacio presumiblemente en reposo.

El movimiento de un cuerpo en el espacio podría deducirse de su movimiento en el éter omnipresente.

Los esfuerzos para determinar la velocidad del flujo del éter se llevaron a cabo con gran ingenio. En 1881, dos físicos norteamericanos, Albert Michelson (1852-1931) y Edward Morley (1838-1923) llevaron a cabo el más famoso de estos experimentos, su trascendencia se debe a los resultados negativos que obtuvieron -contra todo lo esperado-, ya que la idea general era que el éter podía atravesar los cuerpos sin dificultad debido a su carácter universal e inmaterial. Si este era el caso, entonces la tierra en su órbita debería tener movimiento relativo respecto al éter, en virtud de lo anterior, las señales luminosas tenían que desplazarse más rápido en el sentido del éter que a su través, y más rápido a través que en su contra. Pero no se observó la más mínima diferencia, aun cuando la precisión de los instrumentos era de una altísima confiabilidad. El resultado fue el mismo independientemente de la orientación que se le dió al aparato.

Este experimento demostró que era imposible sostener la suposición de que la tierra arrastra en su movimiento al éter que la circunda, y de paso, el hecho es que la luz tiene una velocidad constante con respecto a este flujo hipotético. Este resultado pasa a ser uno de los elementos fundamentales para formulación de la teoría de la relatividad, ya que esta supone la constancia de la velocidad de la luz en su propagación (teórica) en el vacío, y por otro lado, la inexistencia de una base inmaterial subyacente al espacio y a todos los fenómenos del universo. No existe ningún lugar en este que se pueda considerar absolutamente vacío e inamovible, como supuestamente se pensaba respecto al espacio, que tenía un carácter absoluto al igual que el tiempo, y ambos se mantenían independientes uno con respecto al otro.

"La inexistencia de un flujo de éter puso a la física frente a una inconsistencia fundamental y perturbadora. Los esfuerzos por reponer la teoría del éter languidecieron en la mediocridad al ser impugnados por una mentalidad nueva y poderosa. Albert Einstein (1879-1955), uno de los más grandes físicos que ha producido la humanidad, hizo estallar el marco de referencia conceptual mismo en el cual habían sido verificados los experimentos relativos al flujo del éter".¹⁶ El mismo desarrollo de la física creó las condiciones que hicieron surgir a la revolución relativista, y requería de un marco conceptual superior al utilizado por la física clásica, "Esta necesidad de cambiar el significado de conceptos establecidos y familiares, es crucial en el efecto revolucionario de la teoría de Einstein. Incluso podemos llegar a considerarla como un prototipo para las reorientaciones revolucionarias en las ciencias."¹⁷ El cambio de la mecánica de Newton a la relativista ilustra claramente como una revolución científica implica un desplazamiento en la red de conceptos de una época a otra del pensamiento científico.

¹⁶ DAVIES, P.C.W. El espacio y el tiempo en el universo contemporáneo. Fondo de cultura económica. 1982, pp. 63-64.

¹⁷ KUHN, Thomas S. La estructura de las revoluciones científicas. Fondo de cultura económica. 1985, p. 164.

"El producto final de la física newtoniana fue un universo ocupado por un medio invisible, en el que erraban las estrellas y a través del cual viajaba la luz como las vibraciones en un plato de jalea. Proporcionó un modelo mecánico para todos los fenómenos conocidos de la naturaleza y además, el marco fijo de referencia, el espacio absoluto e inmutable que la cosmología de Newton requería."¹⁸

Con respecto a la categoría fundamental del movimiento, era concebido en la física clásica como un movimiento de los cuerpos materiales con respecto al omnipresente flujo del éter, pero el peso del desarrollo de la física experimental ha comprobado los argumentos en favor de la relatividad del movimiento, los cuales son concluyentes.

Cuando en la vida diaria se dice que algo se mueve, se entiende que se mueve en relación con la tierra. Al tratar de los movimientos de los planetas, se considera su movimiento, con relación al sol, o al centro de la masa del sistema solar. Cuando se afirma que el sistema solar también se mueve, se supone que se mueve en relación con las estrellas. En base a lo anterior, se evidencia que es la relación de unos fenómenos con otros, o con algún cuerpo de referencia -que para fines prácticos se considera en reposo de una manera convencional, ya que está demostrado, a partir del descubrimiento de Edwin Hubble a mediados de este siglo, que todo en el universo se mueve, todo el universo está en expansión-, la que da a los fenómenos estudiados su objetividad, al establecer respecto a qué sistema de referencia pertenecen o están asociados dichos fenómenos.

Se concibe la relatividad del movimiento en conjunción con el hecho experimental de que la velocidad de la luz es la misma relativamente a un cuerpo que a otro, aun cuando los dos pueden estar en movimiento, esto conduce a la relatividad de distancias y tiempos.

La concepción clásica es entera e irreduciblemente determinista, de tal manera que, en principio, es suficiente con conocer las condiciones iniciales -es decir, las posiciones y velocidades de las partículas materiales, dentro de un campo de fuerza y en un instante determinado- para poder calcular con todo rigor la evolución ulterior de cualquier proceso o sistema de procesos.

¹⁸ BARNETT, Lincoln. El universo y el doctor Einstein. Fondo de cultura económica. 1985, pp. 33-34.

En este sentido, la teoría de la relatividad supone solo pequeñas correcciones a la física newtoniana, pero desde el punto de vista de sus consecuencias filosóficas, y de su aplicación a los procesos macrocósmicos, que atañen a la cosmología, el cambio implica toda una revolución en la historia de la física y de la ciencia.

Es innegable que la física clásica representa una etapa sumamente importante del conocimiento científico, como parte del empeño humano por comprender y dominar a la naturaleza. Pero, como sucede a toda teoría científica, la física clásica acabó por tropezar con limitaciones insuperables y contradicciones graves, tanto en el dominio experimental como en el terreno teórico. Estas condiciones pusieron de manifiesto la imposibilidad de la física clásica de explicar las experiencias macrocósmicas y microcósmicas, a la vez que costearon todavía más las contradicciones que se habían venido acumulando en su propio campo. En estas condiciones se inició la crisis de la física clásica, produciéndose una transformación radical de los fundamentos de esta ciencia en los dos extremos de la experiencia: en los procesos astronómicos y en los procesos atómicos.

En la actualidad la física clásica es complementada en su aplicabilidad por la física relativista y por la física cuántica, en el estudio de los fenómenos a nivel mesocósmico.

El nivel microcósmico es prácticamente el campo propio de la mecánica cuántica, cuyo iniciador fue Max Planck en 1900.

El nivel macrocósmico constituye el dominio de la física relativista que data de 1905 (teoría de la relatividad especial) y 1915 (teoría de la relatividad general), enunciada y desarrollada por Albert Einstein; la crisis de la física clásica llevó a la revolución que tuvo origen tanto a la teoría cuántica como a la de la relatividad, y esta última es la que a continuación se describe, en el intento de delimitar sus fundamentos, y establecer si es posible relacionarlos y aplicarlos a otras ciencias, en este caso a la geografía.

CAPITULO 3

CONCEPTOS GENERALES DE LA TEORIA DE LA RELATIVIDAD.

El desarrollo de la ciencia plantea constantemente la necesidad de modificar las categorías -entendidas como los conceptos que tienen la mayor extensión, ya sea en el campo de una ciencia determinada, o en el campo de la ciencia en general, o sea, que toda la variedad de manifestaciones de los fenómenos de la naturaleza y la sociedad, se pueden reducir a un determinado número de conceptos fundamentales-, ya establecidas y, dado el caso, conduce a la sustitución de unas categorías por otras, cuando se descubre que las primeras solo representaban aspectos limitados e insuficientes de propiedades objetivas de la naturaleza o la sociedad, que tienen mayor generalidad.

En algunos períodos, cuando se exploran científicamente, nuevos niveles de la realidad, la modificación de las categorías se realiza con mayor rapidez. Pero en todos los períodos, aunque sea de manera más lenta, el progreso del conocimiento, va imponiendo gradualmente la necesidad de modificar tales categorías, hasta que la acumulación de esos cambios es suficiente para producir, de manera indispensable, una transformación radical en ciertas categorías. Cuando esto sucede, la transformación adquiere una forma espectacular y provoca una crisis que conmueve a la ciencia no que se trate en su totalidad, o bien a toda la ciencia. La base a este proceso evolutivo es que la ciencia progresivamente establece modelos de la realidad cada vez más precisos y complejos, en base a las llamadas revoluciones científicas.

Para Kuhn "las revoluciones científicas se consideran aquí como aquellos episodios de desarrollo no acumulativo en que un antiguo paradigma es reemplazado, completamente o en parte, por otro nuevo e incompatible."¹⁹

¹⁹ KUHN, Thomas S. La estructura de las revoluciones científicas. Fondo de cultura económica. 1985, p. 149.

"Ciencia normal significa investigación basada firmemente en una o más realizaciones científicas pasadas, realizaciones que alguna comunidad científica particular reconoce, durante cierto tiempo, como fundamento para su práctica posterior."²⁰ Las revoluciones científicas surgen del desarrollo de contradicciones (anomalías para Kuhn) en la práctica de la ciencia normal, de tales revoluciones resultan nuevos paradigmas o realizaciones científicas, que van a sustituir a los antiguos.

Una revolución establece transformaciones radicales en la ciencia, pero, sus fundamentos contienen la esencia de los conocimientos que le preceden, desarrollados en un nivel superior, que satisfacen de una manera más completa las manifestaciones de la realidad material.

Este proceso dialéctico del conocimiento es confirmado con la tendencia actual -sobre todo en las ciencias exactas- respecto a la pérdida de valor de nociones tales como la exactitud, la perfección, la validez absoluta, etc., de sus afirmaciones. Con relación a esto, Russell sostiene que: "Aunque pueda parecer una paradoja, toda la ciencia exacta está dominada por la idea de aproximación. Si un hombre os dice que posee la verdad exacta sobre algo, hay razón para creer que es un hombre equivocado. Toda medida cuidadosa científica se da siempre con el error probable. Error probable es un término técnico con una significación precisa. Se llama así al error que tiene tantas probabilidades de ser mayor como de ser menor que el error verdadero."²¹

Ante las nociones absolutas del pasado, se ha adoptado una posición tal vez más honesta ante la capacidad del ser humano de conocer la naturaleza, teniendo en la actualidad un gran valor en la ciencia el concepto de las aproximaciones sucesivas mediante las cuales el hombre se acerca cada vez más a la realidad y a la verdad.

En este orden de ideas, prosigue Russell, afirmando que: "Ningún hombre de temperamento científico afirma que lo que ahora es creído en ciencia sea exactamente verdad; afirma que es una etapa en el camino hacia la verdad exacta."²²

²⁰ KUHN, Thomas S. La estructura de las revoluciones científicas. Fondo de cultura económica. 1985, p. 33.

²¹ RUSSELL, Bertrand. La perspectiva científica. Ariel. 1969, pp.53-54.

²² Ibid. p. 55.

En el campo de la física, desde finales del siglo XIX comienzan a surgir una serie de problemas -tanto en el terreno experimental como en el teórico-, que prepararon las condiciones para el desarrollo de una revolución (constituida por la física cuántica y la relativista).

Las leyes llamadas de la física clásica (galileana y newtoniana), comenzaron a mostrarse insuficientes e inconsistentes ante los nuevos descubrimientos sobre todo en lo referente al electromagnetismo, a la dinámica de la luz y al movimiento, que se considera son, el punto de partida de la crisis que conmovió a la física y a toda la ciencia.

En la física moderna se considera que el universo está constituido por cinco categorías fundamentales, a las que se reduce toda la gama de expresiones de la dinámica y la estructura de la naturaleza, y son: ESPACIO, TIEMPO, MATERIA, ENERGIA y MOVIMIENTO.

Por otra parte, respecto al nivel de estudio (escala), la física se encuentra dividida actualmente en tres grandes niveles: "el macrocosmos: correspondiente a las masas, energías y velocidades enormes, de las cuales se ocupa la física relativista; el mesocosmos: que comprende los procesos de dimensiones comparables a las humanas, en donde se cumplen simultáneamente la física relativista, la clásica y la cuántica; y el microcosmos: al cual pertenecen las masas diminutas con energías y velocidades sumamente grandes, que constituye el dominio de la física cuántica."²³

La teoría de la relatividad, no afirma que todo es relativo en el universo -independientemente de que esto sea cierto o no-, más bien, intenta excluir lo relativo y llegar a una formulación de las leyes físicas, que no dependa de las circunstancias particulares de los observadores. Si bien, es cierto que, estas condiciones son más significativas y tienen mayor efecto de lo que aparentan, respecto a la manera como se perciben los fenómenos de la naturaleza.

Hay un principio general que explica la teoría de la relatividad, con respecto a como se pueden estudiar las manifestaciones relativas del universo, y eliminarlas, para abstraer la relatividad de los fenómenos propiamente dichos, independientemente de los observadores, o sea, los caracteres físicos del fenómeno en sí mismo; y poderlos

²³ GONTARI, Eli de. Dialéctica de la física. Océano. 1986, p.7.

estudiar de acuerdo a la equivalencia de todos los sistemas, sin que influya su estado de movimiento uniforme (teoría de la relatividad especial), o cualquier estado de movimiento (teoría de la relatividad general). Este principio se puede enunciar sencillamente de la siguiente manera: Si un hombre es dos veces más rico que otro, este hecho tiene que aparecer igual si se considera la riqueza de ambos, en dólares, libras, francos, o en cualquier otra moneda.

Los números que representan sus fortunas cambiarán, pero la cifra que represente la cantidad del primero será siempre el doble de la del segundo. Si todo movimiento es relativo -de acuerdo con la teoría de la relatividad-, se puede tomar cualquier cuerpo u objeto, como sistema de referencia, y valorar los demás movimientos de otros objetos en relación al primero. Así como se puede apreciar la fortuna de un hombre en diferentes valores monetarios sin alterar su relación con la fortuna de otros hombres, de la misma forma se puede valorar el movimiento de un objeto con respecto a otros objetos, independientemente del sistema de referencia elegido, sin alterar los valores de las relaciones, el problema se reduce a una equivalencia. Si la física es un conjunto de relaciones, ha de ser posible expresar sus leyes refiriendo todos los movimientos a cualquier cuerpo como principio de referencia; tal es el principio de equivalencia entre los diversos sistemas físicos.

Antes de iniciar la descripción de los conceptos fundamentales de la teoría de la relatividad, es necesario aclarar que en síntesis, dicha teoría asigna un carácter relativo, mutable, concatenado, e interrelacionado a las categorías básicas del universo (espacio, tiempo, materia, energía y movimiento), que en la teoría newtoniana se mantenían absolutas e inmutables. Por otra parte, respecto a la luz, le asigna un valor constante a su velocidad -hecho insostenible desde el punto de vista de la relatividad general, donde se incluye la influencia de la gravitación, que altera dicha constancia-; solo de una manera aparente, la relatividad especial y la general, se encuentran en contradicción, pero más adelante se verá como es que, la relatividad especial solo es una parte limitada en el desarrollo de la relatividad general, de la misma manera que lo fue la física newtoniana, respecto a lo que hoy se llama física moderna.

Por último, la teoría de la relatividad elimina la utilización de un sistema teórico "en reposo absoluto", con respecto al cual se puedan determinar los movimientos de los cuerpos en el espacio, e introduce la noción de un continuo espacio-tiempo tetradimensional que, en la relatividad general ya no puede construirse de acuerdo a los principios de la geometría euclidiana, porque incluye deformaciones en el sistema de referencia (espacio-tiempo) por efecto de la gravedad.

3.1. LA TEORIA DE LA RELATIVIDAD ESPECIAL.

Entre los científicos que reflexionaron sobre los resultados del experimento de Michelson y Morley, figuraba un joven físico de 26 años llamado Albert Einstein, quien en 1905 publicó un pequeño ensayo en el que sugería una respuesta al problema, en forma tal, que sentó las bases para el desarrollo de una revolución acerca de la concepción del universo. Einstein empezó por rechazar la teoría del éter, y con ello, la idea del espacio como un sistema fijo, en reposo absoluto, dentro del cual es posible determinar el movimiento relativo de los cuerpos.

"La parte medular de la teoría especial de la relatividad está constituida por una negación de la realidad del espacio newtoniano. El éter no puede ser detectado porque no existe donde es supuesto. Toda la noción de un marco de referencia absoluto y en reposo, con respecto al cual sea posible medir la velocidad de un objeto a través del espacio vacío, es una ficción. El movimiento uniforme solo puede ser reconocido como algo relativo a algún otro sistema material."²⁴

El hecho irrefutable es que, como consecuencia de los resultados de Michelson y Morley se comprobó la invariancia de la velocidad de la luz respecto al movimiento terrestre. Einstein entendió esto como la manifestación de una ley universal. Si la velocidad de la luz es constante, independientemente del movimiento de la tierra, debe ser constante, de igual manera, respecto al movimiento de cualquier astro que se mueva en cualquier lugar del universo.

²⁴ DAVIES, P.C.W. El espacio y el tiempo en el universo contemporáneo. Fondo de cultura económica. 1982, p. 64.

"De esto dedujo una generalización más amplia y aseguró que las leyes de la naturaleza son iguales para todos los sistemas que se mueven uniformemente. Esta sencilla declaración es la esencia de la teoría especial de la relatividad."²⁵ Einstein incorpora el principio de la relatividad de Galileo, que declara que las leyes mecánicas son las mismas para todos los sistemas que se mueven uniformemente. Pero su formulación es más general, ya que Einstein pensaba también en las leyes de la luz y los fenómenos electromagnéticos. Así pues, los unió en un postulado fundamental: todos los fenómenos de la naturaleza, todas las leyes, son los mismos para todos los sistemas que se mueven uniformemente unos con respecto a otros.

En el universo todos los astros están continuamente en movimiento, pero sus movimientos solo se pueden describir relacionando unos con otros, ya que en el espacio no hay ni direcciones ni fronteras. La naturaleza no ofrece medidas absolutas de comparación.

"Junto con el espacio absoluto, Einstein descartó el concepto de tiempo absoluto, es decir, de un flujo constante, invariable e inexorable del tiempo, que fuera desde el pasado infinito hasta el futuro infinito."²⁶ Gran parte de lo extraño de la relatividad se origina en la aversión humana a reconocer que el sentido del tiempo, como el del color por ejemplo, es una forma de percepción.

Tal como no existe el color sin un ojo que lo perciba, así un instante o una hora, o un día, nada son sin un acontecimiento que los señale. Y tal como el espacio es simplemente un orden posible de objetos materiales, así el tiempo es simplemente un orden posible de acontecimientos. La noción del tiempo que se tiene a nivel de los fenómenos terrestres, pierde sentido cuando se estudian zonas alejadas de la vecindad del sol, porque la relatividad supone que no hay un intervalo fijo de tiempo que sea independiente del sistema a que es referido. No existe la simultaneidad, no existe el "ahora" independiente del sistema de referencia.

²⁵ BARNETT, Lincoln. El universo y el doctor Einstein. Fondo de cultura económica. 1985, p. 37.

²⁶ *Ibid.* p. 38.

Por ejemplo, una persona en Nueva York puede telefonar a un amigo en Londres, y a pesar de que son las 7 p.m. en Nueva York y las 12 p.m. en Londres, se puede decir, con fines prácticos, que están hablando "al mismo tiempo". Pero esto se debe a que ambos residen en el mismo planeta (se considera que a escala terrestre los fenómenos pueden ocurrir simultáneamente), y sus relojes están engranados al mismo sistema astronómico. La cosa se complica cuando se pretende saber lo que sucede en la estrella Arturo en "este momento". Arturo está a 33 años luz de distancia de la tierra. Un año luz es la distancia que la luz viaja aproximadamente en un año, o sea, 9.5 billones de Km.

Si se envía una señal por radio a Arturo, el mensaje tardará en llegar 38 años a su destino, y tardará otros 38 años en regresar a la tierra. Por otra parte, cuando se afirma que se ve a Arturo "ahora" realmente se está viendo la luz que alejó de esa estrella hace 38 años, y esta luz que provoca una imagen proyectada sobre el nervio óptico del observador "ahora", puede dar información sólo de lo que sucedió en Arturo al emitirse hace 38 años. La naturaleza no permitirá saber si Arturo existe "ahora" en 1989.

A pesar de estas reflexiones, es difícil que el hombre sujeto a la tierra pueda aceptar la idea de que este instante que él llama "ahora" no pueda aplicarse a todo el universo, es importante notar que en la mente humana el tiempo posee una estructura muy compleja adquiriendo gran significado la división que el ser humano hace del pasado, el presente y el futuro; pero desde el punto de vista de la física, el tiempo solo está caracterizado por la sucesión de etapas constituyentes de un fenómeno, donde el presente solo se atribuye a la percepción.

En la teoría de la relatividad especial Einstein prueba, mediante una irrefutable sucesión de ejemplos y deducciones que, no tiene sentido hablar de sucesos que acontezcan simultáneamente en sistemas no relacionados. Su razonamiento se desarrolla de la manera siguiente: se parte, para la descripción del principio de la relatividad especial o restringida del ejemplo de un ferrocarril que avanza con una velocidad uniforme, su movimiento es más precisamente, una translación uniforme, se considera uniforme porque su dirección y su velocidad son constantes, y se considera translación porque si bien, es cierto que, el vagón de referencia cambia de lugar con respecto al terraplén, sin embargo, no ejecuta ningún movimiento de rotación.

Cerca de allí, un cuervo vuela a través del aire en línea recta y de manera uniforme, con respecto a un observador situado sobre el terraplén. Para un observador situado en un vagón del tren que avanza, el movimiento del cuervo tendrá una velocidad y una dirección diferentes, pero será igualmente un movimiento rectilíneo y uniforme.

En términos abstractos se puede describir lo anterior así: Si una masa m efectúa un movimiento rectilíneo y uniforme con respecto a un sistema de coordenadas K , también ejecuta un movimiento rectilíneo y uniforme con respecto a otro sistema de coordenadas K' , si este último efectúa, con respecto al sistema K , un movimiento de translación de manera uniforme. De donde resulta que, si K es un sistema de coordenadas galileano, entonces cualquier otro sistema de coordenadas K' , que efectúa un movimiento de translación uniforme con respecto a K , es igualmente un sistema galileano. Las leyes de la mecánica de Galileo-Newton, con respecto a K' , son tan válidas como con respecto a K .

Einstein define un sistema de coordenadas galileano así: "Un sistema de coordenadas cuyo estado de movimiento es tal que, con respecto a él se mantiene la validez de la ley de la inercia, es denominado 'sistema de coordenadas galileano'. Las leyes de la mecánica de Galileo-Newton son válidas únicamente para los sistemas de coordenadas galileanos."²⁷

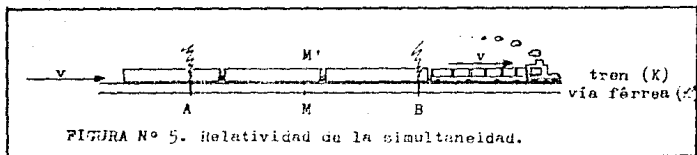
El principio que se ha descrito se puede generalizar mediante la siguiente proposición: "Si K' es con respecto a K , un sistema de coordenadas que ejecuta un movimiento uniforme sin rotación, entonces los procesos de la naturaleza se desarrollan, con respecto a K' , conforme a las mismas leyes generales que con respecto a K . A este enunciado lo llamamos 'principio de la relatividad' (en sentido restringido)."²⁸

Utilizando el mismo ejemplo del tren que se desplaza con respecto al terraplén, se estudia continuación el concepto de simultaneidad, que implica las nociones de espacio, tiempo y movimiento, y que en la teoría de la relatividad adquieren un carácter relativo, que depende del estado de movimiento de un sistema de referencia con respecto a otro, ambos con movimiento uniforme y rectilíneo. Para ello hay que suponer que cualquier acontecimiento que ocurra a lo largo de la vía

²⁷ EINSTEIN, Albert. La relatividad. Grijalbo. 1966, p. 26.

²⁸ Ibid. p. 28.

férrea tiene lugar también en un punto determinado del tren. Tal como se observa en la figura N° 5.



El problema de la simultaneidad se puede plantear de la siguiente manera: ¿dos acontecimientos que son simultáneos con respecto a la vía, también son simultáneos con respecto al tren? En seguida se verá que no lo son, y esto depende del movimiento de un cuerpo de referencia con respecto a otro.

Cuando se afirma que los relámpagos A y B son simultáneos con respecto a la vía férrea, esto significa que los rayos luminosos que parten de A y B se encuentran en el punto medio M de la distancia A-B, situada sobre la vía. Pero a los acontecimientos A y B corresponden también los lugares A y B en el tren. ¿Sea M' el punto medio de la recta A-B del tren en marcha. Es cierto que este punto M' coincide con el punto M en el instante en que se producen los relámpagos (esto visto desde el terraplén), pero en el diagrama, dicho punto M' se desplaza hacia la derecha con la velocidad v. Si un observador colocado en el punto M' del tren, no se estuviera moviendo con esa velocidad, entonces se mantendría permanentemente en M y los rayos luminosos que parten de A y B lo alcanzarían al mismo tiempo, es decir que, los rayos se encontrarían justamente en el punto en donde está colocado el observador. Sin embargo el observador (visto desde el terraplén) avanza en realidad hacia el rayo de luz proveniente de B, mientras que se adelanta al rayo de luz proveniente de A. Por consiguiente, el observador verá el rayo de luz proveniente de B, antes que el proveniente de A. Los observadores que utilizan el tren como cuerpo de referencia, deben llegar a la conclusión de que el relámpago B, se produjo antes que el relámpago A. De lo anterior es posible deducir que: "Dos acontecimientos que son simultáneos con respecto a la vía férrea, no son simultáneos con respecto al tren, y recíprocamente (relatividad de la simultaneidad).

Cada cuerpo de referencia (sistema de coordenadas) tiene su tiempo propio: una indicación de tiempo sólo tiene significado cuando indica el cuerpo de referencia al que se refiere."²⁹

En el ejemplo anterior, se establece que el rayo de luz B es observado primero por la persona que se encuentra en el sistema de referencia en movimiento (E'), respecto al rayo proveniente de A, mientras que el observador del sistema en reposo (E) recibe las señales luminosas al mismo tiempo. Esta diferencia se debe al adelgazamiento de uno de los dos sistemas de referencia, y no a una variación en la velocidad de la luz, que por otra parte, ha sido verificada en los experimentos sobre óptica y electrodinámica realizados originalmente por H.A. Lorentz (1853-1928), comprobando que la velocidad de la luz no depende del estado de movimiento del sistema de referencia, en la teoría de la relatividad especial.

Einstein hizo ver que, el científico que desea describir los fenómenos de la naturaleza en términos congruentes con todos los sistemas del universo debe considerar las medidas de tiempo y espacio como cantidades variables, relativas. Las ecuaciones de transformación de Lorentz hacen precisamente esto, conservan la velocidad de la luz como constante universal, pero modifican todas las medidas de tiempo y distancia de acuerdo con la velocidad de cada sistema de referencia.

La transformación de Lorentz relaciona tiempos con distancias en sistemas móviles comparáncolos con sistemas en reposo, y sus ecuaciones muestran claramente, que a velocidades ordinarias la modificación de los intervalos de tiempo y espacio es prácticamente cero. La relatividad por lo tanto, no contradice los principios de la física clásica, simplemente considera los viejos conceptos como casos limitados que se pueden aplicar únicamente a experiencias ordinarias de la tierra, donde las velocidades son insignificantes con respecto a la velocidad de la luz.

En la teoría especial de la relatividad Einstein estudió el fenómeno del movimiento y demostró que no existe en el universo una norma fija mediante la cual el hombre pueda juzgar el movimiento "absoluto" de la tierra o de cualquier otro sistema móvil. El movimiento solo puede describirse —como ya se vió—, como un cambio de posición de un cuerpo de referencia con respecto a otro, siendo posible establecer la equi-

²⁹EINSTEIN, Albert. La relatividad. Grijalbo, 1986, p. 43.

valencia de K con respecto a K', o bien, de K' con respecto a K, tienen como constante a la velocidad de la luz, y en base a la transformación de Lorentz.

Conjugando los postulados de la constancia de la velocidad de la luz y el principio de la relatividad especial se obtiene la ley de transformación de las coordenadas rectangulares x, y, z, t , de los acontecimientos que constituyen los procesos de la naturaleza; y el resultado no es la transformación de Galileo, sino la transformación de Lorentz.

En base a lo anterior, el principio de la relatividad restringida se puede enunciar ahora así: "Toda ley general de la naturaleza debe ser tal, que se transforme en una ley de la misma forma, cuando, en vez de las variables espacio-tiempo x, y, z, t , del sistema de coordenadas primitivo K, se introducen nuevas variables de espacio-tiempo x', y', z', t' , del sistema de coordenadas K', en el cual la relación matemática entre las magnitudes con apóstrofo y las magnitudes sin apóstrofo está dada por la transformación de Lorentz. Dicho brevemente: las leyes generales de la naturaleza son invariantes ante la transformación de Lorentz."³⁰ Esta se describe de la siguiente manera: es posible formular una ley de transformación de las magnitudes espacio-temporales de un acontecimiento, cuando se pasa de un cuerpo de referencia a otro.

Tomando nuevamente el ejemplo de la vía férrea y el vagón del tren en movimiento ¿como se puede determinar el lugar y el momento de un acontecimiento con respecto al tren, si ya se conoce el lugar y el momento de dicho acontecimiento con respecto al terraplén? es decir, ¿cuales son los valores x', y', z', t' , de un acontecimiento, con respecto a K' si ya conocemos las magnitudes x, y, z, t , del mismo acontecimiento con respecto a K? el problema se puede resolver a través del sistema de ecuaciones de transformación siguiente:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad ; \quad y' = y \quad ; \quad z' = z \quad ; \quad t' = \frac{t - \frac{v}{c^2} x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Solamente se hace el despeje para las coordenadas x' y t' , ya que el tren en movimiento K' se desplaza solo en una coordenada, de acuerdo a la relatividad especial, el movimiento es uniforme y rectilíneo.

³⁰ EINSTEIN, Albert. La relatividad. Grijalbo. 1986, p. 64.

Pero si en vez de la velocidad de propagación de la luz, se hubieran tomado como base los supuestos de la vieja mecánica clásica, sobre el carácter absoluto de los tiempos y las distancias, entonces en lugar de las ecuaciones de transformación de Lorentz, se usarían las siguientes:

$$x' = x - vt \quad ; \quad y' = y \quad ; \quad z' = z \quad ; \quad t' = t$$

Este sistema de ecuaciones se llama transformación de Galileo, que puede ser derivada de la transformación de Lorentz, atribuyéndole a la velocidad de la luz (c), en ésta última, un valor infinito.

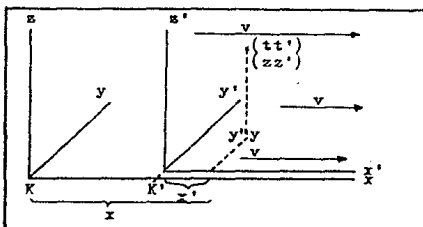


FIGURA N° 6. Sistemas en movimiento relativo: El movimiento del sistema de referencia K', con respecto al sistema K, es uniforme y rectilíneo, entonces implican una transformación de coordenadas equivalentes.

Por otra parte, respecto a las categorías de materia y energía, una de las confirmaciones más destacadas de la teoría de la relatividad especial surge de la reformulación de las leyes de la mecánica para satisfacer su congruencia. La barrera de la luz, trae consigo la conversión de la masa en energía para impedir que un cuerpo alcance velocidades superlumínicas, que le están vedadas. Tal conversión se refiere fundamentalmente a las leyes de los movimientos rápidos, en los cuales las velocidades (v) no son demasiado pequeñas en comparación con la velocidad de la luz.

La experiencia indica que, en la tierra solo los electrones y los iones se encuentran animados de movimientos tan rápidos. De acuerdo con la teoría de la relatividad, la energía cinética de una partícula material con masa m , ya no se encuentra dada por la expresión: $E = \frac{mv^2}{2}$ sino por la expresión: $E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

Esta expresión tiende al infinito cuando la velocidad v es cercana a la velocidad de la luz. Por lo tanto, la velocidad debe ser siempre inferior a c . La ecuación anterior demuestra que de una pequeña cantidad de masa m , cuando se desprende de toda su energía potencial, puede liberar una enorme cantidad de energía cinética, de este principio parte la utilización de materiales radiactivos para obtener grandes cantidades energía, y dió origen a lo que hoy se llama física nuclear.

La física prerrelativista consideraba dos principios de conservación fundamentales: el principio de conservación de la energía y el principio de conservación de la masa, que eran considerados independientes uno de otro. En virtud de la teoría de la relatividad, dichos principios han quedado reunidos en uno solo, de acuerdo con las ecuaciones recién mencionadas, en las que se pueden transformar de manera equivalente.

La teoría de la relatividad especial, impone al movimiento de los cuerpos un límite universal que es la velocidad de la luz, y exige que la longitud de un objeto se contraiga a lo largo de la dirección de su desplazamiento, al tiempo que, la duración se dilate. Se puede decir de otra manera: los efectos de dilatación del tiempo y de contracción de la longitud, como una reuucción de la extensión espacial, que se manifiesta en forma de un incremento en la extensión temporal.

Entonces, un objeto tiene una extensión espacio-temporal inalterable, como una proyección de esta extensión en el espacio y en el tiempo en proporción variable, dependiente de la velocidad relativa del objeto.

Por último, la teoría de la relatividad, sustituye la acción a distancia instantánea, o sea, la acción a distancia con una velocidad de propagación infinita, por la acción a distancia a la velocidad de la luz, que es una constante fundamental.

Pero en la teoría de la relatividad general se dan importantes cambios respecto a la relatividad especial, ya que esta última dió la solución a un determinado problema. Explicó cómo cuando dos cuerpos de referencia están en movimiento relativo uniforme, todas las leyes físicas son exactamente iguales (equivalentes) para ambos cuerpos.

Pero si se solucionó un problema, surgió otro: ¿que sucede cuando el movimiento de los cuerpos no es uniforme? esto será explicado en la siguiente sección.

3.2. LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD GENERAL.

Albert Einstein siempre fue consciente de las limitaciones de su teoría especial de la relatividad, sobre todo en cuanto a la restricción referente al tipo de movimiento al cual se aplica. La relatividad especial afirma que dos cuerpos en estado de movimiento uniforme y rectilíneo, es decir, en movimiento inercial, están sujetos a las mismas leyes de la naturaleza, independientemente de que cualquiera de ellos se tome como punto de referencia para el estudio del movimiento del otro.

Pero su teoría no explica los movimientos cuando los cuerpos o sistemas de referencia están sujetos a aceleraciones.

En el intento de superar estos problemas, Einstein se vio impelido a formular una nueva teoría, esta gran aventura intelectual le ocupó durante 10 años, ya que la teoría especial de la relatividad data de 1905, en tanto que la relatividad general fue publicada en 1915, y esta última predice que la teoría especial o restringida no era otra cosa que una aproximación en el estudio de la dinámica de los cuerpos, que no consideraba los efectos de la gravitación. "Esto no significa que la teoría especial de la relatividad esté equivocada, sino que tan sólo es una aproximación válida dentro de los límites en los cuales los efectos de la gravitación resultan insignificantes. De la misma manera que tampoco está equivocada la mecánica newtoniana, sino que es tan sólo una aproximación válida dentro de los límites de las pequeñas velocidades."³¹ Cada teoría tiene un nivel o una escala de aproximación propio, de acuerdo a su sistema conceptual.

Al respecto, el mismo Einstein acepta que: "El destino más hermoso que puede tener una teoría física es el de allanar el camino para el establecimiento de una teoría más amplia, en la cual la primera sigue siendo válida como un caso particular de la segunda."³²

Esto pone de manifiesto la conciencia de este sabio con respecto al proceso dialéctico del conocimiento, que tiene su expresión objetiva en las aproximaciones sucesivas a la verdad y a un cabal entendimiento de la realidad.

³¹ DAVIES, P.C.W. El espacio y el tiempo en el universo contemporáneo. Fondo de cultura económica. 1982, p. 108.

³² EINSTEIN, Albert. La relatividad. Grijalbo. 1986, p. 104.

La relatividad del movimiento uniforme, que constituye la piedra angular tanto de la teoría newtoniana de la mecánica, como de la teoría especial de la relatividad de Einstein, depende decisivamente del uso de marcos de referencia inerciales.

En la relatividad especial, se considera mecánicamente equivalentes a todos los sistemas que se mueven con velocidades uniforme. Solo a través del movimiento acelerado es posible percibir diferencias físicas desde dentro del sistema en movimiento. De acuerdo con la 2a. ley de Newton, y con la generalización que de ella hizo Einstein, la aceleración solo puede ser eliminada, suprimiendo la acción de todas las fuerzas que actúan sobre el sistema en movimiento, y se alcanza al mismo tiempo el estado especial de movimiento uniforme. La existencia de un marco inercial de referencia depende, por lo tanto, de la posibilidad de asegurarse, por lo menos en principio, un estado de movimiento libre de fuerzas.

La física moderna describe cuatro fuerzas de la naturaleza, que son: interacción fuerte, interacción débil, electromagnetismo y gravitación, estas dos últimas se pueden percibir a niveles mesocosmos y macrocosmos, las dos primeras se experimentan en los procesos del microcosmos. No puede alcanzarse el movimiento inercial mientras estén presentes las fuerzas electromagnéticas y gravitacionales.

Newton consideraba que era posible establecer teóricamente en una región lejana del universo, un sistema libre de toda fuerza gravitacional, en el cual se manifestara el movimiento inercial, y estudiarlo en relación a sistemas de referencia sobre la superficie terrestre, por observación y por comparación con ese cuerpo distante.

Pero Einstein no aceptó el razonamiento de Newton, porque, además del hecho de que la gravedad está presente siempre en todas partes, como una propiedad del espacio-tiempo, sencillamente por el campo global del universo, por su propia teoría especial de la relatividad sabía que un estado de movimiento local (marco de referencia) no puede ser comparado con un sistema inercial distante, como Newton lo había supuesto, ni siquiera en principio. La razón de esta imposibilidad radica en la equivalencia de la masa y la energía, $E = mc^2$, que demanda que la luz —como fuente de energía—, posea también masa y por ello sea afectada por la gravedad de la misma manera que una partícula material.

Una de las predicciones principales de Einstein fue que la luz sería curvada al pasar por un campo gravitacional: Sir Arthur Eddington, astrónomo inglés (1882-1944), logró verificarla por observación durante un eclipse de sol en 1919, al medir la curvatura de la luz de una estrella al pasar por el campo gravitacional del sol, y encontró que concuerda con el valor teórico calculado por Einstein. El hecho de que los rayos luminosos sean curvados por la gravedad, descarta automáticamente el empleo de señales luminosas para observar el movimiento de un sistema inercial distante, desde una región sometida a un campo gravitacional, toda vez que las observaciones resultarán distorsionadas. La siguiente figura muestra como es que se produce tal desviación de la luz en la cercanía de un campo gravitacional.

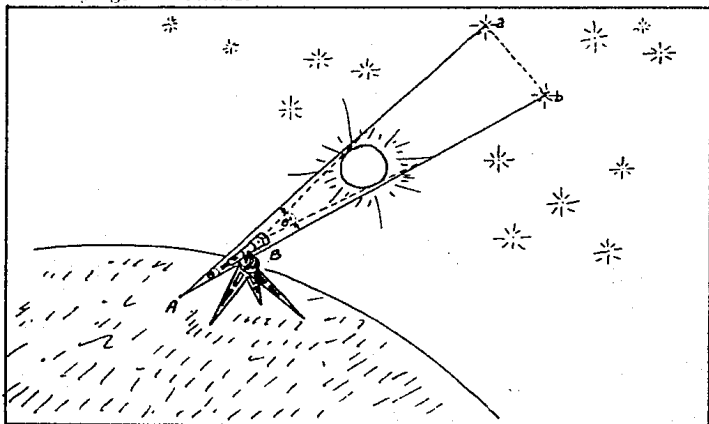


FIGURA N° 7. La trayectoria de la luz es curvada por la gravedad.

Los rayos de luz provenientes de las estrellas lejanas a y b ubicadas en el momento de la observación a los lados del disco solar convergen en un teodolito sobre la superficie terrestre colocado convenientemente durante un eclipse solar, y se observa que el ángulo medido entre dichas estrellas, al ser medido después, cuando el sol está fuera de la trayectoria de los rayos luminosos, es diferente. Con ello se deduce que el sol curva el espacio a su alrededor. Este experimento fue sugerido inicialmente por Einstein y comprobado por Eddington, con resultados muy similares ($1,61'' \pm 0,30''$ comparado con $1,75''$ predicho por Einstein).

Como resultado de reflexiones de este tipo, Einstein concluyó que la estructura del espacio-tiempo, ya incorporada al principio de la relatividad especial, no podía ser concebida en forma separada de la gravedad. Entonces trató de construir una nueva teoría de la gravedad, para reemplazar a la de Newton, que había servido con tanto éxito durante más de dos siglos.

La extraña coincidencia de que, eliminando la influencia del aire, todos los cuerpos caigan con la misma tasa de aceleración, fue descubierta por Galileo, quien demostró experimentalmente que todos los cuerpos caen con la misma aceleración, independientemente de su tamaño o composición. Este es el principio de equivalencia o equilibrio entre la gravitación y la inercia, el cual fue aceptado como cuestión de fe, pero no entendida ni explicada.

Einstein dudó que este equilibrio fuese un mero accidente de la naturaleza, rechazó la idea de que la gravitación pudiese ejercerse instantáneamente a grandes distancias. El concepto de que la tierra pudiese actuar en el espacio y atraer objetos hacia ella con una fuerza milagrosa, e invariablemente igual a la resistencia inercial de los objetos, le parecía muy improbable.

A partir de estas objeciones desarrolló una nueva teoría de la gravitación, la cual según la experiencia ha demostrado, da una imagen más exacta de la naturaleza, que la clásica ley de Newton.

Para Einstein la gravitación -al tiempo que se considera como una realidad física, tanto como lo es un campo magnético-, no es una fuerza, la ley de gravitación de Einstein, describe el comportamiento de los objetos en un campo gravitacional -los planetas por ejemplo-, no en función de atracciones, sino en función de las trayectorias por las que se desplazan. "Para Einstein, la gravitación es simplemente parte de la inercia; el movimiento de las estrellas y los planetas nace de su inherente inercia, y los cursos que siguen están determinados por las propiedades métricas del espacio; o hablando con mayor propiedad, por las propiedades métricas del continuo espacio-tiempo."³³

³³ BARNETT, Lincoln. El universo y el doctor Einstein. Fondo de cultura económica. 1985, p. 72.

De la misma manera que el movimiento de un pedazo de hierro en un campo magnético es guiado por la estructura del campo, así la trayectoria de cualquier cuerpo en un campo gravitacional está determinada por la geometría de ese campo. Las matemáticas de Einstein son pues, más exactas que las de Newton cuando hay que tratar con altas velocidades y campos gravitacionales poderosos, cuyo límite es la velocidad de la luz.

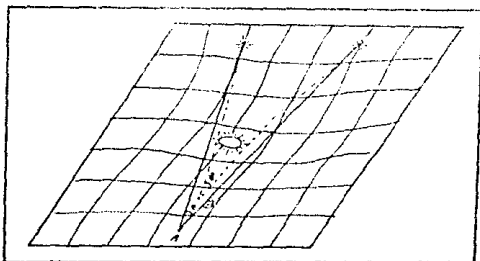


FIGURA N° 8. Curvatura del espacio-tiempo.

Se observa como el ejemplo de la figura N° 7 es representado en tres dimensiones.

La gravitación ejercida por un cuerpo masivo curva el espacio a su alrededor, desvianco la trayectoria de los rayos luminosos.

Desde este punto de vista, el sol no ejerce ninguna fuerza sobre los planetas, estos siguen las trayectorias más fáciles en la geometría espacio-tiempo no euclidiana de la teoría de la relatividad general, donde no es posible utilizar coordenadas rígidas, ni líneas rectas, como sucede en la geometría clásica o euclidiana.

La ley de la gravitación se ha convertido en la ley geométrica de que todo cuerpo sigue un curso determinado por campos gravitacionales, a este curso se le llama geodésica. En la superficie de la tierra, una geodésica es la línea más corta que se puede trazar de un punto a otro, y como la tierra es una esfera, tal línea será un círculo, o bien, un segmento suyo.

Una vez que se ha visto que la teoría de la relatividad especial sólo se aplica a los movimientos uniformes y rectilíneos, y en base a un sistema de referencia galileano, se procede a hacer el enunciado de la teoría de la relatividad general de manera concreta.

En la teoría de la relatividad general, todos los cuerpos de referencia, K, K', \dots , son equivalentes para la formulación de las leyes generales de la naturaleza, independientemente de su estado de movimiento, pero, ya que no es posible el empleo de cuerpos de referencia rígidos para la descripción espacio-temporal, en el sentido del método seguido en la teoría de la relatividad especial.

Entonces, el cuerpo de referencia debe ser sustituido por el sistema de coordenadas de Gauss (1777-1855). A la idea fundamental del principio de la relatividad generalizada le corresponde el principio siguiente: "Todos los sistemas de coordenadas de Gauss son, en principio, equivalentes para la formulación de las leyes generales de la naturaleza."³⁴ Y las transformaciones de coordenadas se pueden hacer de acuerdo a las ecuaciones de Lorentz, al igual que en la relatividad especial.

"El sistema de coordenadas de Gauss es una generalización lógica del sistema de coordenadas cartesiano. También es aplicable a continuos no euclidianos; pero solamente en el caso de que haya pequeñas partes del continuo considerado que se comporten de una manera euclidiana, con respecto a la medida definida ("distancia") con una aproximación tanto mayor, cuanto más pequeña sea la parte considerada del continuo en cuestión."³⁵

La teoría de la relatividad generalizada se puede enunciar como una extensión de la teoría de la relatividad restringida. En esta última, las variables espacio-tiempo x, y, z, t , del sistema de referencia K , son sustituidas por las variables x', y', z', t' , del sistema de referencia K' utilizando la transformación de Lorentz, donde los sistemas de referencia son galileanos. En tanto que, en la primera, las ecuaciones no deben transformar en ecuaciones de la misma forma, cuando se hacen sustituciones de las variables de Gauss x_1, x_2, x_3, x_4 , porque toda transformación (y no solo la transformación de Lorentz) corresponde al paso de un sistema de coordenadas de Gauss a otro sistema. La necesidad de usar continuos no euclidianos en la relatividad general esta dada por: la influencia de campos gravitatorios, la curvatura del espacio-tiempo, la igualdad de la masa inercial y la masa gravitatoria, y las trayectorias curvas de los cuerpos en el espacio-tiempo.

³⁴ EINSTEIN, Albert. La relatividad. Grijalbo. 1986, p. 130.

³⁵ *Ibid.* p. 119.

3.3. EL CONTINUO ESPACIO-TIEMPO DE CUATRO DIMENSIONES.

Comúnmente se piensa con respecto a la noción de espacio, que es algo vacío, una extensión, un volumen, un lugar desocupado donde se encuentran las cosas, y que al quitarlas no queda nada. Pero en base al desarrollo de la ciencia moderna, se ha comprobado que en el espacio (considerado en su totalidad) no existe un vacío absoluto.

Estrictamente hablando, el espacio exterior a la tierra no es un vacío perfecto. Las enormes distancias que hay entre las estrellas contienen siempre, por lo menos, pequeñas cantidades de materia (gases, polvo cósmico, etc.) y una considerable cantidad de radiación de una u otra clase.

El concepto que los hombres de ciencia tienen del espacio es muy diferente a la noción común de la gente, que evoca una imagen de vacuidad, de extensión ilimitada. En la actualidad se considera que las propiedades del espacio que se encuentra más allá de la tierra, son casi en todo lugar muy semejantes a las existentes sobre la superficie terrestre, esto considerando que las teorías científicas del espacio, no son teorías sobre el espacio exterior. Cuando Newton, Leibniz y Descartes hicieron conjeturas sobre el espacio, era muy poco lo que sabían de astronomía con respecto a la actualidad.

Hoy se considera que el espacio posee muchos niveles de estructura, en vez de considerar el universo (estrellas, galaxias, nebulosas, planetas, etc.) como contenido en el espacio absoluto e inmutable, se concibe a este, como el conjunto de las manifestaciones evolutivas de la materia y la energía, el espacio y el tiempo, así como el movimiento, siendo este último concepto, el que caracteriza al universo dinámico de la cosmología moderna.

Aunque no se pretende en este trabajo hacer un análisis detallado sobre las nociones fundamentales de espacio y tiempo, sí se hará mención de algunas de sus propiedades básicas, necesarias para la descripción del continuo espacio-tiempo de cuatro dimensiones de la teoría de la relatividad, de la que han derivado tanto la cosmología como la física moderna.

"La geometría parte de ciertos conceptos fundamentales, tales como el punto, la recta y el plano, a los cuales somos capaces de asociar representaciones más o menos claras, y de ciertas proposiciones sim-

plano (los axiomas), las cuales estamos dispuestos a considerar como 'verdaderas', en virtud de dichas representaciones."³⁶

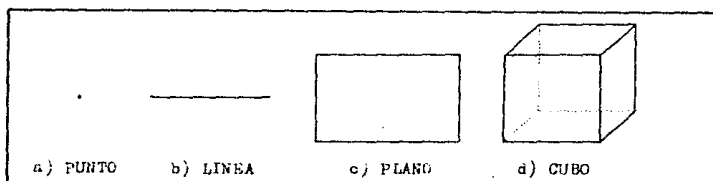


FIGURA Nº 9. Conceptos fundamentales de la geometría. El espacio real es tridimensional y, el punto, la recta y el plano sirven para delimitar las dimensiones de cualquier objeto. Por definición, el punto tiene una dimensión igual a 0, la línea igual a 1, el plano igual a 2, y el cubo igual a 3. A partir de la línea se puede calcular distancia, mediante el plano área, y con el cubo volumen.

La figura anterior muestra como sucesivamente, a partir de los conceptos del punto, línea y plano se establecen las fronteras de las dimensiones de los cuerpos materiales. "El postulado de que el espacio es tridimensional se refiere, por lo tanto, al orden al cual se ha progresado sobre esta secuencia. Desde un punto de vista matemático, el número de dimensiones que puede poseer un espacio no tiene límites."³⁷

Las propiedades métricas del espacio cercano a la superficie terrestre fueron exploradas detalladamente por los antiguos geómetras griegos, y las características estáticas del mundo fueron formalizadas en los axiomas y teoremas de la geometría euclidiana. Pero las propiedades cinámicas del mundo no fueron incorporadas en forma de una teoría matemática sistemáticamente, hasta que fueron desarrollados los trabajos de Isaac Newton en el siglo XVII.

En la teoría newtoniana se consideraba que el espacio y el tiempo permanecían absolutos, o sea, que constituían un marco de referencia fijo e inependiente, que no era alterado por el comportamiento de lo que contenían (los cuerpos materiales).

Hoy en día, tanto la física como las matemáticas han desarrollado complejos y muy variados modelos del espacio, pero de todos estos es

³⁶ EINSTEIN, Albert. *La relatividad*. Grijalbo. 1946, pp. 15-16.

³⁷ DAVIES, P.C.W. *El espacio y el tiempo en el universo contemporáneo*. Fondo de cultura económica. 1952, p. 21.

posible deducir algunos conceptos generales, tales como: continuidad, dimensionalidad, conectividad, orientabilidad, etc., estos caracteres básicos del espacio son estudiados por la topología y dependen solo de la continuidad del espacio, y no de propiedades tales como el tamaño y la forma exacta.

Una de las más elementales y prácticas propiedades del espacio consiste en la manera como pueden ser localizados los puntos o lugares mediante denominaciones continuas o coordenadas, por ejemplo, cualquier población puede ser localizada especificando su latitud y su longitud, o sea una pareja de números que designan en forma continua a todos los puntos de la superficie bidimensional de la tierra. Es posible construir un sistema de triángulos de números que permitan localizar objetos en cualquier lugar del espacio terrestre incluyendo como tercera coordenada a la altitud. No obstante que para la representación hay algunos problemas con respecto a la altitud, en un plano, existe un sistema convencional de curvas de nivel, que tienen como origen el nivel medio del mar.

Claro está que los valores que les sean asignados a estos números, dependerán del tipo de sistema de coordenadas que se utilice.

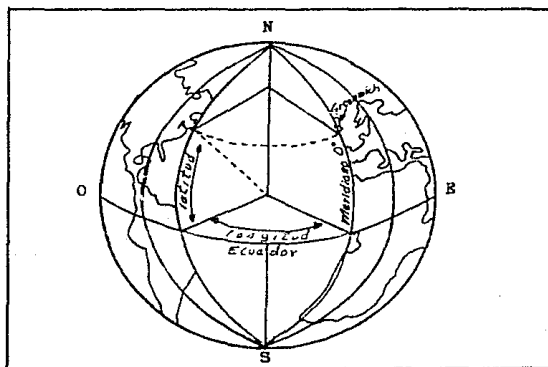


FIGURA N° 10. Latitud y longitud de un punto A sobre la superficie terrestre. A es el punto que define la posición de un lugar geográfico, este es la ciudad de Nueva York. $A=40^{\circ}40' N$; $73^{\circ}50' O$.

Por ejemplo, el cambiar la línea de longitudes iguales a cero de Greenwich a París, cambiará los valores que permiten dar la posición de cualquier población en la superficie terrestre. O supóngase que para localizar todos los puntos de la tierra se elige el especificar tanto su dirección como su distancia respecto de La Meca, en vez de emplear la latitud y la longitud. Y pudiera ser necesario emplear más de un sistema de coordenadas diferentes para cubrir adecuadamente la totalidad del espacio. La latitud y la longitud causan confusiones cerca de los polos (en el polo norte todas las direcciones son sur). Y será necesario que exista una relación adecuada entre uno y otro de los sistemas de coordenadas, en las regiones donde ambos tengan traslape entre sí. A un espacio que admite coordenadas continuas y libres de contradicciones internas, se le llama múltiple.

Además de ser un espacio múltiple, el espacio real posee estructura geométrica. Existe por ejemplo, una ruta que es la más corta entre dos puntos cualesquiera, en un plano es una línea recta, pero en una esfera es una curva llamada geodésica. Más aun, en él es posible definir tanto distancias como ángulos. Y los espacios con estas características reciben el nombre de espacios métricos, de los cuales existen muchas clases diferentes, pero cuya descripción cae fuera de los alcances de este trabajo.

Antes de 1915 se suponía (con excepción de algunos matemáticos), que el universo real era un espacio métrico que obedecía a las reglas de la geometría plana de Euclides. En este sistema, los ángulos interiores de un triángulo suman siempre 180° , y siempre es posible trazar líneas paralelas entre sí.

Las teorías modernas del espacio incluyen la notable propiedad de que la estructura métrica puede variar de un lugar a otro y de tiempo en tiempo, por lo que las reglas de Euclides dejan de ser válidas.

La existencia de tres direcciones independientes, recíprocamente perpendiculares, representa una de las propiedades más fundamentales del espacio físico (real), este es tridireccional o tridimensional.

Si se asignan tres números con referencia a las tres dimensiones mencionadas, estos tres valores definen la posición de un punto en un espacio tridimensional.

La descripción anterior, sobre las principales características del espacio, pone de manifiesto el hecho de que actualmente se le considere como uno de los elementos o principios fundamentales de la existencia material y objetiva, así como la importancia de su estudio para una visión completa de la realidad.

Es probable que el tiempo tenga las mismas propiedades topológicas que el espacio, a pesar de tener solo una dimensión. El tiempo posee también una estructura métrica, ya que es posible definir la distancia entre dos puntos del tiempo, como el intervalo que existe entre dos acontecimientos (por ejemplo, de la 1 a las 2 horas), e igualmente, de manera convencional se le pueden asignar diversas escalas y sistemas de referencia.

Aun a pesar de que el tiempo representa una forma de percepción distinta del espacio, por las razones anteriores, puede ser considerado como un espacio matemático métrico de una sola dimensión, el tiempo es irreversible y unidireccional, es decir, es asimétrico, a diferencia del espacio que es simétrico y posee tres direcciones. Está demostrado que es más exacto, para la descripción de las leyes de la naturaleza, considerar las tres dimensiones del espacio, y la única del tiempo, como un espacio-tiempo tetradimensional y unificado, que es además un espacio métrico. "El espacio y el tiempo están unidos por el movimiento; y del estudio del movimiento de los cuerpos materiales y de las señales luminosas resulta que el espacio y el tiempo son, en realidad, dos aspectos de una sola estructura unificada llamada espacio-tiempo."³⁸

En la vida diaria, el tiempo al igual que el espacio, se utiliza constantemente para describir acontecimientos que se producen en el entorno del ser humano, cuando se habla sobre un cierto fenómeno o suceso, generalmente se dice, no solo donde tuvo lugar, sino también cuando ocurrió. Así se agrega un dato más a los tres datos iniciales sobre la descripción de un acontecimiento, estos son, las coordenadas del punto (lugar), que define la posición del fenómeno o suceso.

Respecto a la compleja estructura del espacio, que ahora ya está unido al tiempo, es posible representarla de muchas maneras, gracias

³⁸ DAVIES, P.C.W. El espacio y el tiempo en el universo contemporáneo. Fondo de cultura económica. 1982, p. 16.

a la imprescindible herramienta de las matemáticas, aunque esto es posible solo de manera aproximativa y considerando que los principios de unas ciencias no pueden aplicarse de una manera exacta para otras ciencias, ya que como afirma Russell, "por supuesto que interpretamos el mundo de un modo gráfico. Es decir, imaginamos lo que pasa más o menos como lo vemos. Pero en la realidad esta semejanza solo se puede extender a ciertas propiedades lógicas formales que expresan la estructura, de tal forma que lo que conocemos son ciertas características generales de sus cambios."³⁹ Este autor se refiere a la interpretación que se hace de la realidad, que se manifiesta como una evolución de sucesos, de los cuales captamos sus características estructurales y funcionales, de acuerdo a un modelo de dicha realidad.

Tal vez no resulte obvio que el espacio y el tiempo deben estar acoplados de una manera fundamental, por ser ambas, experiencias radicalmente distintas. Pero la descripción que hacen los matemáticos sobre el tiempo resulta muy semejante a la que hacen del espacio.

Por otra parte, el hecho que resulta indiscutible es que el espacio y el tiempo son solo dos expresiones de una misma realidad, el continuo espacio-tiempo de cuatro dimensiones, que es el sistema de referencia de la teoría de la relatividad.

Las consideraciones referentes a espacios bidimensionales, desde el punto de vista matemático, pueden ser aplicadas a espacios tridimensionales por extrapolación, e incluso a espacios de más dimensiones. Es muy probable que el espacio físico real tridimensional, e incluso el espacio-tiempo de cuatro dimensiones, esté sometido a las reglas de la geometría esférica y no a las de la geometría plana.

El propósito de Einstein, tan atrevido como revolucionario, fue el de vincular estas ideas matemáticas de la geometría del espacio curvo con las propiedades físicas de la gravedad. Sugirió que en presencia de la gravedad, el espacio-tiempo no es plano. Recordando lo visto en las dos secciones anteriores, hay que aclarar que la gravedad está siempre presente en todo lugar, pero sucede que a nivel (escala) terrestre es imperceptible la curvatura del espacio por efecto de la gravedad, en donde se aplica, por lo tanto, la física

³⁹ RUSSELL, Bertrand. ABC de la relatividad. Ariel. pp. 182-183.

newtoniana y la teoría de la relatividad restringida, ya que la gravedad no es muy intensa, y los fenómenos se pueden representar en un sistema de coordenadas rectangulares (galileano). Pero por otro lado, en la teoría de la relatividad generalizada, el espacio sufre deformaciones porque los cuerpos masivos (astro) lo curvan en torno suyo.

En resumen, la relatividad restringida y la relatividad generalizada no están en contradicción, sino que ésta última es una extensión de la primera, con respecto a los procesos astronómicos.

En su conjunto, la teoría de la relatividad se aplica a ámbitos diferentes (la restringida a nivel microcosmos y mesocosmos; y la generalizada a nivel macrocosmos).

La relatividad generalizada utiliza un sistema de coordenadas no euclidianas (coordenadas de Gauss) para la representación de los fenómenos, en este sistema las líneas de referencia no son rectas, sino curvas y reciben el nombre de geodésicas, definidas como: las líneas que en un espacio esférico o curvo tienen la menor longitud al anular dos puntos, son las trayectorias que adquieren todos los objetos con la menor resistencia en su desplazamiento.

En la figura N° 11 se observan las diferencias de representación del tiempo y del espacio en el modelo de Newton (a), y en el modelo de Minkowski-Einstein (b).

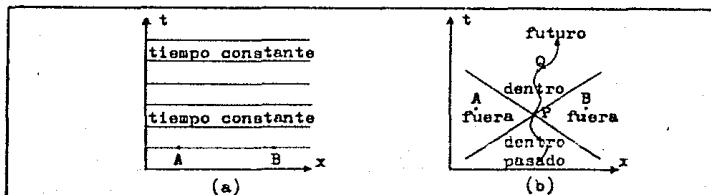


FIGURA N° 11. Mapas de espacio y tiempo. En (a) se observa el modelo de Newton de espacio y tiempo independientes, los puntos A y B se dan en dos lugares diferentes de una manera simultánea, para todos los observadores ambos sucesos ocurren al mismo independientemente de su estado de movimiento. En (b) el mapa espacio-tiempo solo es válido para un observador determinado, en un estado de movimiento uniforme, las líneas oblicuas son rayos de luz que pasan por un acontecimiento particular P, para otros observadores las líneas oblicuas tendrán una pendiente diferente. Q ocurre posteriormente a P, en tanto que A y B caen en la región exterior y no afectan al suceso P. (b) es un sistema de coordenadas galileano al igual que (a).

El gran mérito de Einstein consiste en haber tenido la capacidad de integrar los conocimientos reunidos por la física hasta su época, y tener la visión para superar las deficiencias y contradicciones que esta había acumulado, preparando las condiciones para la crisis de fines del siglo XIX en esta ciencia. Con respecto al concepto de espacio-tiempo, incorporó a su teoría los fundamentos geométricos del matemático ruso Hermann Minkowski (1864-1909) quien: "fue el primero en estudiar las propiedades de esta estructura tetradimensional, por lo que a veces se lo llama al espacio-tiempo de la relatividad especial, espacio de Minkowski. Este es un espacio en el sentido matemático del término. Por eso no debe suponerse que el espacio es en realidad tetradimensional, o que el tiempo es efectivamente una forma de espacio."⁴⁰ La teoría de la relatividad reconoce sencillamente el hecho de que las propiedades del espacio y el tiempo se entremezclan estrechamente, y por ello no es posible construir modelos por separado para cada uno de ellos.

De igual manera: "Einstein seleccionó como su modelo para el espaciotiempo un tipo restringido de la geometría no-euclídea inventada por Bernard Riemann (1826-1866). Las propiedades del modelo de Einstein eran tales que todos los observadores que se moviesen relativamente en él resultaban simétricos y equivalentes entre sí, suministrando además geodésicas, es decir, trayectorias correspondientes a las líneas rectas en la geometría euclídea, que se podían identificar con movimientos en campos gravitatorios."⁴¹

El universo de los acontecimientos físicos, tiene de una manera natural para Minkowski cuatro dimensiones (x, y, z , para el espacio), (t para el tiempo). Lo extraño que puede parecer un universo de cuatro dimensiones radica en el hecho de que en la física anterior a la relatividad, el tiempo desempeña un papel distinto o independiente con respecto a las coordenadas espaciales. En efecto, de acuerdo a la física clásica, el tiempo era absoluto, o sea, independiente de la posición y del estado de movimiento del sistema de referencia. Esto es expresado en la última ecuación de transformación de Galileo:

⁴⁰ DAVIES, P.C.W. El espacio y el tiempo en el universo contemporáneo. Fondo de cultura económica. 1982, p. 101.

⁴¹ MASON, Stephen. Historia de las ciencias. vol. 5. Alianza editoria. 1986, p. 30.

($t'=t$). Por otra parte, conforme a la teoría de la relatividad, el tiempo queda privado de su independencia, como lo muestra la cuarta ecuación de la transformación de Lorentz:

$$t' = \frac{t - \frac{v}{c^2} X}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

La combinación del espacio y el tiempo se puede visualizar de una manera más sencilla mediante el uso de mapas espacio-tiempo, aunque no se puede dibujar un fenómeno tetradimensional en un plano, es posible reducir la expresión a una imagen bidimensional haciendo abstracción de dos coordenadas de la siguiente manera: el tiempo (t) y una de las coordenadas espaciales, (x) por ejemplo.

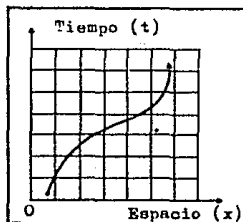


FIGURA N° 12. Mapa espacio-tiempo. Ilustra como, en dos dimensiones es posible la representación de los sucesos espacio-temporales.

Un punto en el mapa es un acontecimiento que ocurre en un lugar y un momento determinados.

Una línea sobre el mapa es una historia: una sucesión de acontecimientos, como la trayectoria o desplazamiento de una partícula material, en el espacio a través del tiempo.

El concepto del continuo espacio-tiempo tetradimensional es una de las consecuencias trascendentales de la relatividad restringida, que a la vez sirvió de base a la relatividad generalizada.

Mediante la asunción de que el movimiento de cada cuerpo de referencia relativiza tanto las medidas espaciales como las temporales, el comportamiento de una partícula material se puede entender como un suceso, o sea, un fenómeno dinámico, con una historia compuesta por el origen de dicha partícula, su evolución espacio-temporal, y su desaparición, todo esto observado como la sucesión de momentos o

instantes que caracterizan su trayectoria en la llamada "línea-mundo".

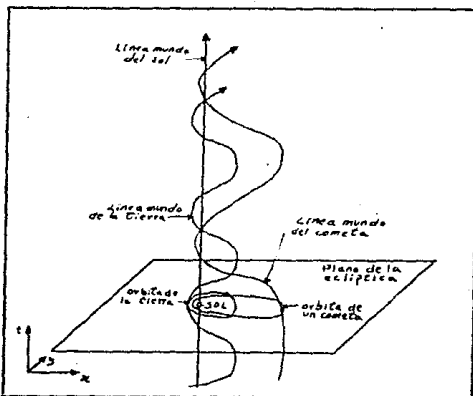


FIGURA N° 13. Líneas mundo de la tierra, el sol y un cometa en un mapa espacio-tiempo del sistema solar.

En el lenguaje de la geometría espacio-tiempo de cuatro dimensiones, la línea que representa la historia de cada partícula material, se conoce como línea mundo. De manera análoga se puede hablar de bandas mundo, compuestas por el infinito conjunto de líneas que constituyen la sucesión de acontecimientos que caracterizan la vida (historia) de un cuerpo material.

La figura N° 13 ilustra claramente, como es que en un plano es posible dibujar la sucesión de posiciones progresivas de dos astros (la tierra y un cometa) en su órbita alrededor del sol, éste se considera fijo al nivel del sistema solar, por ello se ilustra su línea mundo como una recta (fija en espacio y a través del tiempo).

Con fines descriptivos de los movimientos de las partículas o cuerpos materiales, tanto la física como las matemáticas pueden hacer abstracción de coordenadas, lo cual simplifica el trabajo, pero en geografía -como se verá posteriormente- es fundamental la localización de los fenómenos en tres dimensiones espaciales (x, y, z) -y en virtud de la teoría de la relatividad-, así como en la dimensión temporal (t). Esto posibilita un estudio más objetivo de la realidad.

CAPITULO 4

LOS CAMBIOS RADICALES EN LA CONCEPCION DEL UNIVERSO.

Los vastos alcances de la teoría de la relatividad -descrita en el capítulo anterior- han implicado durante el siglo XX toda una revolución tanto en la física, como en la concepción que el hombre tiene del universo, es decir, en la cosmología.

A continuación se resumen las ideas básicas de dicha teoría:

- a) El universo (cosmos) está compuesto por cinco categorías básicas, que en realidad aparecen conjugadas coexistentes dinámicamente.
- b) el carácter de las categorías básicas (espacio, tiempo, materia, energía y movimiento) es relativo.
- c) No existen sistemas de referencia en reposo absoluto.
- d) Para la medición y equivalencia de las categorías en su dinámica, se toma como constante la velocidad de la luz, a medida que el estado de movimiento de un cuerpo se aproxima a tal velocidad, se producen cambios radicales (dilatación del tiempo, contracción del espacio, transformación de materia en energía y viceversa, etc.).
- e) De acuerdo con la teoría de la relatividad restringida, los fenómenos (sucesos) de la naturaleza son equivalentes cuando tienen un movimiento rectilíneo y uniforme (sistema de referencia inercial), y se representan mediante un sistema de coordenadas rectangulares o galileano. Se introduce el concepto de espacio-tiempo de cuatro dimensiones, propuesto por Minkowski.
- f) La teoría de la relatividad generalizada se aplica a cualquier estado de movimiento, y se basa en una geometría no euclidiana ideada por Riemann y desarrollada por Gauss, donde la distancia más corta entre dos puntos es una geodésica. Se introduce el concepto de campo gravitatorio como producto de la geometría espacio-tiempo, que se curva en la cercanía de los cuerpos masivos, y excluye a la gravedad como una fuerza de atracción instantánea a distancia.

De la teoría de la relatividad en su conjunto y de la teoría cuántica de Max Planck— parte la explicación moderna sobre la estructura y la dinámica del cosmos en sus diferentes dominios.

La teoría de la relatividad, no sólo se aplica a los fenómenos siderales, sino también a los que ocurren a escala de la superficie terrestre o geográfica. A este nivel, la teoría de la relatividad general se reduce a la teoría de la relatividad especial y a la física prerrelativista, ya que los efectos gravitatorios así como las velocidades tienen valores tendientes a cero con respecto a la velocidad de la luz.

Por otra parte, con respecto a la posición de la tierra, a través de la historia se han enunciado numerosas hipótesis, asignándole lugares diferentes en la jerarquía estructural del universo. Pero de todas ellas es posible describir algunas que han propiciado las transformaciones radicales en el entendimiento humano acerca del universo.

Durante muchos siglos se creyó que la tierra estaba en reposo dentro del universo; que el sol, la luna y las estrellas giraban en torno de la tierra con una precisión cronométrica, pero que el mismo planeta estaba fijo en el centro. Esta teoría llamada geocéntrica, fue elaborada por Claudio Ptolomeo en Grecia hacia el año 150 d.C., y perduró hasta después de la edad media (siglo XV).

Nicolás Copérnico (astrónomo polaco, 1473-1543), destruyó esta cómoda imagen de la tierra en el centro del universo (y de la atención divina), al demostrar que el sol se encuentra en el centro del sistema que lleva su nombre, y que la tierra gira en torno de él junto con los demás astros. Esta es la teoría heliocéntrica.

Tanto sus descubrimientos como la visión revolucionaria de Copérnico han tenido consecuencias tales que "La humanidad nunca se ha recuperado por completo del choque intelectual que le ocasionó el que la tierra perdiese su posición privilegiada".⁴²

Es un notable hecho histórico el que los primeros años de este siglo presenciaron no sólo una, sino dos grandes revoluciones en la física, y de hecho, en todo el pensamiento humano. La teoría de la

⁴² DAVIES, P. C. W. El espacio y el tiempo en el universo contemporáneo. Fondo de cultura económica. 1982, p. 35.

relativiana ha modificado en lo fundamental la concepción sobre las propiedades del mundo físico, esencialmente a escala macroscópica -abarca también el nivel terrestre y el atómico-; mientras que la teoría cuántica ofrece la imagen más objetiva del mundo de las partículas elementales, que es su campo propio, y es más abstracta que la relativiana, tal vez porque es menos familiar a la mayoría de la gente.

El mundo físico del que se ocupa la teoría de la relativiana es radicalmente distinto a los propuestos por Ptolomeo y Copernico, ya que ni la tierra ni el sol ocupan lugares privilegiados en el cosmos, como tampoco ningún otro astro.

El universo se entiende en gran escala de una manera uniforme, -lo cual es aceptado por la mayoría de los cosmólogos-, y es uniforme en dos sentidos: en primer lugar, las detalladas estructuras de las estrellas lejanas y de las galaxias, las leyes de la física a las que están sujetas, y las cantidades en que se presentan en forma natural, son considerables iguales, o sea, uniformes. El segundo punto sobre la uniformidad se refiere a la distribución de la materia.

Esta distribución de la materia (gases, polvo cósmico, nebulosas, estrellas, galaxias, radiaciones, etc.) es homogénea, esto quiere decir que es la misma en cada región o lugar, y es también homogénea en cada dirección (es isotrópica). Gracias a estas características ha sido posible diseñar modelos del universo con un mínimo de complejidad técnica. Este principio ha sido llamado cosmológico.

Actualmente se considera que -al menos en el entorno del sistema solar-, las condiciones físicas no tienen nada de especial, sino que son representativas (típicas) de cualquier lugar "promedio" del universo. "Nuestra Tierra, nuestro Sol, o nuestra galaxia, parecen ser de extrema importancia para los seres humanos, pero en el esquema total de las cosas son bastante insignificantes y nada excepcionales."⁴³

En 1929, el astrónomo norteamericano Edwin Hubble (1889-1953), publicó algunos resultados sobre mediciones de la luz procedente de las galaxias distantes, el análisis del espectro de dicha luz llevó

⁴³ DAVIES, P.C.W. El espacio y el tiempo en el universo contemporáneo. Fondo de cultura económica. 1982, p. 263.

a concluir que debían al correrimiento de las líneas hacia el rojo, todos los astros masivos tienden a separarse unos de otros, y más aun, las estrellas y galaxias distantes se alejan a velocidades cercanas a la de la luz. De lo anterior se puede deducir que el universo está en continua expansión. Este descubrimiento totalmente inesperado cambió radicalmente la posición de los cosmólogos, ya que un universo en expansión es un universo que cambia, que tiene una historia vital, quizá hasta nacimiento y muerte.

Una teoría dinámica del cosmos puede ser tomada como si fuera una teoría de la gravitación, ya que esta es la única capaz de regular el movimiento de grandes cuerpos a través de enormes distancias.

En la época en que Hubble hizo su descubrimiento la teoría de la relatividad general estaba ya establecida como la aceptada descripción del movimiento bajo la acción de la gravedad. De acuerdo a esto los físicos empezaron a estudiar la dinámica del universo construyendo modelos matemáticos relativistas.

Einstein ya había aplicado la relatividad general a la cosmología antes del descubrimiento de Hubble. Lo curioso es que Einstein se había desalentado por haber encontrado que su teoría daba lugar solo a universos en expansión o en contracción.

En conformidad con la creencia general de esa época, referente a que el universo era inmutable, se que estaba compuesto por "islas" de materia que flotaban en el centro de un "mar" infinito de espacio; Einstein trataba de construir un modelo estático del cosmos, que no se derrumbaría sobre sí mismo por efecto de su propia gravedad, pero que tampoco tuviera que expandirse para escapar de ella. Fue tan lejos en sus intentos, que modificó la teoría de la relatividad general para satisfacer esta exigencia, agregando una fuerza de repulsión cósmica que equilibrara con la gravedad.

El modelo de Einstein difería de los anteriores modelos estáticos basados en la teoría de la gravitación de Newton en una forma realmente fascinante. Tal modelo es finito e ilimitado, con características muy similares a las de una esfera, tiene un volumen finito de espacio, dentro del cual están distribuidas uniformemente las galaxias de acuerdo con el principio cosmológico y no tiene borues ni fronteras por ningún lado. En vez de prolongarse indefinidamente hacia afuera,

el espacio se cierra sobre sí mismo describiendo una curva negativa.

Un habitante de tal universo podría enviar una señal luminosa en una dirección dada, para encontrarse con que dicha señal volvía a él desde la dirección opuesta luego de haberle dado la vuelta a su universo. Es posible imaginar un viajero del espacio que realizara un recorrido por el estilo, circunnavegando el universo a la manera de un Magallanes cósmico.

"La primera persona que aplicó la teoría general de la relatividad a la construcción de una gama de modelos matemáticos de un universo en expansión fue el meteorólogo ruso Alexander Friedmann (1888-1925), quien discretamente publicó su trabajo en 1922. Estos modelos siguen siendo el marco de referencia teórico básico para la discusión de casi toda cosmología moderna."⁴⁴

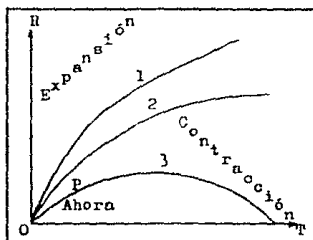


FIGURA N° 14. Modelos cosmológicos de Friedmann. En un momento finito pasado, la escala $R=0$ es el origen a partir del cual se inició la expansión del universo. P es el lugar probable en el que se encuentra ahora el universo. 1, 2, 3, son ejemplos de la evolución (cambio de escala a través del tiempo) del universo. A este conjunto de teorías también se le llama teoría del universo pulsativo.

Debido a la uniformidad del universo en gran escala, el único cambio geométrico que puede haber -de acuerdo con la relatividad general-, es decir, el cambio del espacio en función del tiempo, es una variación total de escala, una expansión o una contracción, que

⁴⁴ DAVIES, P.C.W. El espacio y el tiempo en el universo contemporáneo. Fondo de cultura económica. 1982, p.274.

sería la misma en todas partes. Si el universo está en expansión -tal como lo demostró Hubble-, entonces, debió haber estado más comprimido en el pasado. Toda la materia en el universo estuvo en aquel momento concentrada en un solo punto matemático de densidad infinita, estando en equilibrio las fuerzas de gravedad y expansión.

De la misma manera, George Gamow ha expuesto la teoría del gran estallido (big-bang) que dió origen al universo, a partir de un núcleo supercondensado, que se expande progresivamente.

La cosmología relativista tiene un carácter cíclico, ya que a pesar de ser el cambio escalar, el único posible, el equilibrio entre repulsión y contracción no es exacto (permanente), es una realidad mutable e inestable, y la perturbación más mínima (a escala cósmica) provoca un colapso o una dilatación, esta dinámica puede seguir tres vías de acuerdo a los modelos de Friedmann.

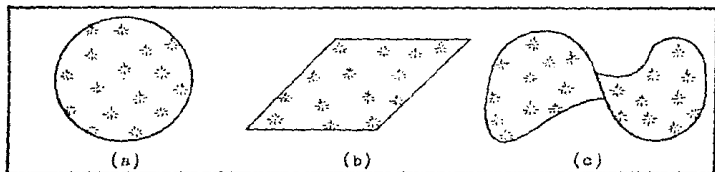


FIGURA N° 15. Posible geometría del universo en expansión. Las figuras bidimensionales a, b, c, reproducen algunas de las características del espacio tridimensional. La figura (a), una esfera en expansión, hace referencia al modelo 3 del universo de Friedmann, que termina por volver a entrar en colapso sobre sí mismo. (b) es el modelo 2, que indica un plano euclidiano, cuya geometría es elemental. En (c) el espacio es curvo "hacia afuera", en contraste con la curvatura "hacia adentro" de (a). Tanto (b) como (c) se extienden infinitamente, pero (a) es finito.

Einstein hizo conciliar su teoría general de la relatividad con los principios básicos descritos, dando como resultado la cosmología relativista, en la cual ya no es aplicable la geometría de Euclides, los rayos luminosos no se desplazan en línea recta, igual que cualquier otro cuerpo describen geodésicas en su movimiento. Como la estructura de un campo gravitacional está determinada por la masa y la velocidad del cuerpo gravitatorio (estrella, galaxia, planeta, etc.), se deduce que la estructura geométrica total del universo debe estar determinada por la suma total de su contenido material. Para cada concentración de

materia en el universo existe una correspondiente distorsión del continuo espacio-tiempo. Cada cuerpo celeste crea irregularidades locales a modo de reflujos alrededor de islas en el mar. A mayor concentración de materia, mayor es la curvatura del espacio-tiempo.

El efecto total es una completa curvatura que se cierra sobre sí misma, como sucede en la esfera. "Las distorsiones combinadas, producidas por las incomputables masas de materia, obligan al continuo a volverse sobre sí mismo, describiendo una gran curva cósmica cerrada."⁴⁵

Por lo tanto, el universo de Einstein, es no euclidiano y finito, sin límites ni bordes, sin lugares en reposo absoluto, ni sistemas de referencia privilegiados (incluyendo a la tierra), donde para calcular la posición y el estado de movimiento de un cuerpo, se tiene que hacer en relación con otros cuerpos igualmente en movimiento, y es posible tomar cualquiera de ellos como punto o sistema de referencia.

"Para el hombre, un rayo de luz parece desplazarse en línea recta hacia el infinito, tal como a un gusano que se arrastra por siempre hacia adelante la Tierra le parece plana e infinita. Pero la noción humana de que el universo es de carácter euclidiano, como la idea que el gusano tiene de la tierra, le es impartida por la limitación de sus sentidos. En el universo de Einstein no hay líneas rectas, solo hay geodésicas o grandes círculos."⁴⁶

Actualmente los límites exteriores del conocimiento humano los constituyen la teoría cuántica y la teoría relativista; al explorar en el microcosmos el hombre se ha encontrado con indeterminación, dualidad, incertidumbre, fronteras que parecen insalvables; y en el macrocosmos ha llegado a la situación de no poder reducir el espacio-tiempo, la materia-energía, así como al descubrimiento de los hoyos negros, donde el espacio-tiempo se colapsa, donde lo más difícil parece ser el hecho de no poder reducir estas relaciones y conceptos a una única expresión que permita explicar todos los fenómenos de la naturaleza. A pesar de los grandes avances de la ciencia en el siglo XX, a medida que se pretenda ir más allá, el hombre se introduce cada vez más en un mundo de abstracción y simbolismo. Queda ahora por resolver entonces un gran problema, si la naturaleza está sujeta al libre albedrío, o bien, si evoluciona de una manera armónica y ordenada, confirmando el ideal de la ciencia.

⁴⁵BARNETT, Lincoln. El universo y el doctor Einstein. P.C.E. 1985, p.84.

⁴⁶Ibid. p.84.

CAPITULO 5

EL CONCEPTO ACTUAL DE GEOGRAFIA.

Una vez que se ha delimitado y explicado en términos generales la teoría de la relatividad, se procede a continuación a conceptualizar a la geografía, así como a su objeto de estudio y sus principios.

Esto con la finalidad de tomar como punto de referencia un concepto de geografía y sus fundamentos, sobre los que se considera aplicable la teoría de la relatividad.

Pues bien, la geografía es una disciplina que se practica desde la antigüedad, es una de las más viejas ciencias, y se comparte la idea en este trabajo, de que el conocimiento del entorno se efectúa como producto de la evolución humana, es inherente a ella. De acuerdo con Wooldridge y Gordon: "es útil destacar que el hombre, en cuanto ser observador y reflexivo, ha actuado siempre en cierto sentido como geógrafo. En el pasado más remoto su mundo o su medio ha sido espacialmente restringido y así sigue siendo para muchos; pero le ha sido necesario cultivar cierto conocimiento práctico del ambiente -una especie de sentido de orientación- para vivir y subsistir en cualquier parte del planeta."⁴⁷ Pero es necesario aclarar que dicho conocimiento del medio que rodea al hombre se ha desarrollado progresivamente, y ha partido de nociones no sistematizadas. "Todo formaba un patrón definido confiado a la memoria y usado en la vida cotidiana; en suma, una geografía empírica."⁴⁸

El primer auge de la geografía, como sistema articulado de conocimiento, tiene lugar en la época de la cultura helenística. Geografía es un término procedente de la lengua griega (*geos*-tierra; *grafein*-describir), que significa descripción de la tierra, aunque durante su

⁴⁷ WOOLDRIDGE, S.W., GORDON, W. Significancia y propósito de la geografía. Nova. 1957, p. 17.

⁴⁸ Ibid. p. 18.

desarrollo ha trascendido -en unas épocas más que en otras- ampliamente esta definición.

La evolución de la geografía ha sido paralela a la lucha del hombre por adaptarse, conocer y transformar a la naturaleza, -por cierto una lucha muy penosa-, que tiene como fin el mejoramiento de las condiciones de vida y de su organización social.

Desde la antigüedad griega, la descripción de territorios incluía datos propiamente geográficos sobre límites, ríos, montañas, climas, etc., así como la descripción etnográfica de los pueblos, su historia, mitos, relatos, etc., desde a esto en sus orígenes, la geografía aparece relacionada con lo que hoy se llama etnología, historia y economía.

Por otra parte, la geografía aparece también muy relacionada con las matemáticas y la astronomía, ya que fue del interés de los sabios griegos que compartían estos campos del saber, establecer medidas sobre las propiedades geométricas de la tierra y de la confección de mapas para representarlos. Baste con mencionar a Hecateo, Herodoto y Estrabón como representantes del primer grupo; y a Eratóstenes, Tales y Anaximandro de Mileto, Hiparco, Ptolomeo, etc., como exponentes de este segundo grupo.

No es de extrañar que debido al amplio ámbito de la geografía, desde sus orígenes, se han planteado dicotomías, que persisten aun en la actualidad. Capel y Urteaga sostienen que la geografía "ha podido entenderse a la vez como descripción y estudio de toda la tierra y como descripción y estudio de alguna de sus partes. Existe así desde el principio, en esta ciencia, una distinción entre una perspectiva general y otra particular o regional. La oposición entre ambos enfoques, presentada con matices diversos a lo largo del tiempo, constituye una característica importante de la geografía."⁴⁹

Estos puntos de vista suponen a la vez, la asociación ya mencionada de la geografía con muy diversas ciencias, pues "Desde la antigüedad está planteada una dualidad de enfoques entre una corografía o geografía regional, ligada a la historia y a la etnografía, y una geografía matemática, en la que los aspectos humanos están ausentes!"⁵⁰

⁴⁹ CAPEL, Horacio. URTEAGA, Luis. Las nuevas geografías. Salvat, 1982. p.4.

⁵⁰ *Ibid.* p. 6.

Estas divisiones que se han presentado en la geografía, si bien, implican ampliaciones en los puntos de vista, también traen consigo el riesgo de la progresiva desmembración de dicha ciencia, como se verá más adelante.

La tradición de la cartografía científica clásica se interrumpió en el mundo occidental con la decadencia del imperio romano entre el siglo IV y el V d.C.

En los siglos medievales de crisis cultural y económica (siglo V al XV de n.e.), el conocimiento geográfico en Europa se restringió en forma considerable, y solo hasta el siglo XVI se desarrolló una cartografía más científica con los portulanos usados para la navegación en el Mediterráneo. Este desarrollo de la cartografía y la época de los grandes descubrimientos geográficos estimularon el desarrollo de la ciencia geográfica entre los siglos XVI y XVIII.

De acuerdo al contexto histórico-económico, que en aquel tiempo exigía a las civilizaciones la búsqueda de mercados para el intercambio comercial y la extensión de sus zonas de influencia, es un hecho de enorme significado el que hayan sido los europeos y no los chinos, quienes pudieron rebasar primero el cabo de Buena Esperanza, logrando llegar a Asia en 1488; después de que mientras Europa estuvo perdida en el oscurantismo místico medieval, y en China hubiese un gran florecimiento de la cartografía y las relaciones descriptivas de los territorios, cuya exactitud y objetividad se desarrolló a lo largo de un milenio, no habiendo en éste tiempo nada similar en Europa.

A principios del siglo XVI, después que los portugueses habían logrado llegar a Asia por el sur de Africa, los españoles se lanzaron a la conquista de nuevos territorios y lograron realizar el primer viaje de circunnavegación entre 1519-1522, así como el descubrimiento y colonización de América "el nuevo mundo", de tal manera que se iniciaba una nueva etapa en la historia de la humanidad, y también en la historia de la geografía.

En esta época se crearon centros de estudios náuticos y cartográficos (Casa de contratación de Sevilla y Casa de contratación de Lisboa), que sistematizaban la información sobre las tierras recién descubiertas mediante relaciones de viajes y descubrimientos, y las descripciones de las regiones exploradas contribuyeron a configurar una nueva imagen de la tierra.

Posteriormente, la geografía tuvo un papel destacado en la revolución científica del siglo XVII, que sentó las bases de la ciencia moderna. Algunos de los problemas importantes de la época tenían que ver con la estructura, forma y magnitud de la tierra.

Los tratados sobre la esfera terrestre fueron afectados por la discusión y el triunfo de la concepción copernicana, lo cual exigió escribir una nueva geografía que tuviera en cuenta los movimientos de la tierra y sus efectos en los diferentes lugares del globo.

Para entonces, la geografía como ciencia que se ocupaba de la descripción y la representación cartográfica de la tierra, formaba parte de las matemáticas (era una ciencia matemática mixta, como la astronomía y la óptica), y en las universidades se enseñaba dentro de la cátedra de matemáticas.

"El desarrollo de las ciencias especializadas de la tierra a lo largo del siglo XVIII supuso una pérdida de contenido de la geografía como ciencia general de la tierra. La geología, botánica, física, química pasan ahora a estudiar problemas que antes eran objeto de la geografía general."⁵¹ La creciente complejidad de los problemas relacionados con los estudios cartográficos y su interés económico, náutico y militar dieron lugar a la formación de corporaciones profesionales que tenían los conocimientos matemáticos y los medios técnicos necesarios para los levantamientos cartográficos. La geodesia y la cartografía se configuraron entonces como ciencias autónomas, con lo que la geografía se desliga de las disciplinas matemáticas, después de siglos de compartir el estudio general de la tierra.

La identificación creciente de las tareas del geógrafo con la descripción de países y el carácter enciclopédico de esas compilaciones alejaron cada vez más a la geografía de la posición científica de vanguardia que siempre ocupó.

A principios del siglo XIX, surgen en Alemania Karl Ritter (1779-1859) y Alexander von Humboldt (1769-1859), quienes vendrían a determinar los fundamentos y a configurar a la geografía en una ciencia moderna. Ambos autores fueron conscientes del limitado alcance de la geografía de esa época, generalmente reducida a la descripción de países y a la elaboración de mapas, e intentaron

⁵¹CAPEL, Horacio. URTEAGA, Luis. Las nuevas geografías. Salvat. 1982, p. 13.

efectuar ambiciosos proyectos científicos, que constituyen completas reformulaciones del campo geográfico y sus ideas han trascendido a su época.

Cuando Humboldt viajó a América en 1799, ya poseía la firme convicción de que era posible descubrir los vínculos existentes entre los seres vivos y la naturaleza inanimada, estudiar sus mutuas relaciones y explicar como se distribuyen en el espacio, esto es muy significativo, en el sentido de que antecede a las exploraciones (expediciones científicas) del Beagle (1831), Challenger (1873), Gazelle (1874), Valdivia (1898), etc., el siglo XIX fue el gran siglo de las exploraciones terrestre y marítimas, con una intencionalidad máxima hacia 1850 y 1900. "En los últimos años del siglo XVIII, el surgimiento de una imagen del mundo bien ordenada con el hombre como elemento integrante de él fue anunciada. En ese momento, dos hombres -Humboldt y Ritter- fueron los primeros en expresar en sus escritos el espíritu esencial y percibieron los futuros servicios que prestaría necesariamente la geografía. Es importante hacer notar que su mayor obra había empezado y acabado antes de la era de Lyell-Darwin, pues ambos murieron en 1859."⁵²

Si durante la época de los grandes descubrimientos geográficos, el objetivo primordial fue la búsqueda de nuevas rutas comerciales para enlazar a Europa con el extremo oriente por vía marítima, la época de las grandes expediciones científicas ya concebía el conocimiento, la exploración de las zonas remotas así como su control con fines de estrategia, coincidiendo con el apogeo de la expansión imperialista europea, en la que el centro del poder ya se había desplazado de la península Ibérica a Francia y la Gran Bretaña.

El eje central del proyecto científico de Humboldt fue la creación de una nueva ciencia, la física del globo, que permitiese la integración de diversas ciencias que estudiaban el medio natural y explicase la armonía de la naturaleza y el encadenamiento causal de las fuerzas que actúan en ella. También prestó un gran interés a la perspectiva histórica, sobre todo en el marco natural. Rompió así con una larga tradición de pensamiento de gran peso aun entonces, que consideraba a la naturaleza como algo estático e inamovible.

⁵² Woodrriage, S.W., GORDON, W. Significado y propósito de la geografía. Nova. 1957, p. 22.

Por su parte, el pensamiento de Ritter estaba orientado hacia la explicación de las relaciones existentes entre el medio físico y la vida del hombre, considerando a la tierra como escenario de la actividad humana, es decir, que se interesó más en la cuestión humana a diferencia de Humboldt, aunque el pensamiento de Ritter acusaba, por otra parte, un claro determinismo propio del pensamiento de su época.

Con los aportes de Humboldt y Ritter, se produce en Europa un verdadero renacimiento de la geografía, renacimiento que implica un cambio sustancial de la "antigua geografía", descriptiva e inventarial así como enumerativa, por una "nueva geografía" o geografía moderna, definitivamente explicativa y científica.

Esta transformación en la geografía está acorde con las exigencias de la época, ya que "si algo caracteriza primordialmente al pensamiento geográfico decimonónico, es precisamente su expresa voluntad -acorde con las aspiraciones cognoscitivas generales del siglo- de fundar un sistema científico de conocimiento definitivamente superador de las deficiencias, errores y limitaciones del saber tradicional. Al igual que en otros campos del conocimiento, en el campo de la geografía se manifiesta vigorosamente la intención de 'establecer originariamente el Nuevo Orden Significante del Mundo'.⁵³

En esta época, el método de la ciencia física adquiere una gran difusión tendiente a su universalización como modelo de cientificidad positiva del siglo XIX. Como se suponía que el objetivo fundamental de toda ciencia positiva era desentrañar explicativamente todas las regularidades de los fenómenos, lo que llevaba a entender -en estricta coherencia con el proceder de la mecánica newtoniana- el principio de determinación causal como un requerimiento pragmático de la propia ciencia, la generalización de la racionalidad científica fisicista implantaba una concepción de la naturaleza y de la sociedad que tendía a identificar a estas con complejas maquinarias compuestas por elementos cuya dinámica obedece a estrictas leyes de causalidad.

En 1859, la publicación y la rápida difusión de "el origen de las especies" de Charles Darwin, incidió en forma decisiva sobre el panorama

⁵³GÓMEZ, Josefina, et. al. El pensamiento geográfico. Alianza editorial. 1982, p. 20.

general del conocimiento científico y, en concreto, del conocimiento geográfico. Así, el modelo mecanicista (newtoniano) es sustituido de esta forma por el modelo biologicista (darwiniano).

Lo que resulta fundamental para el pensamiento geográfico — y en general para el pensamiento humano y social — es precisamente la solución aportada por el evolucionismo darwiniano en relación con las dificultades conceptuales y metodológicas referentes a que no se reconocía científicamente, o al menos al nivel de las ciencias naturales, a las ciencias humanas o sociales.

La influencia del evolucionismo sobre el campo de la geografía es sumamente fecunda, ya que la científicidad de la geografía humana se logra por tanto, cuando se reconoce la ley de la evolución de las especies como ley natural que regula toda la dinámica social. Esta influencia es notoria en el pensamiento ratzeliano, que ya aparece por otra parte, como una construcción rigurosamente consistente, donde la perspectiva biologicista permite edificar un razonamiento en el que los procesos humanos, sociales y políticos responden siempre a una dinámica evolutiva decisivamente determinada por las condiciones geográficas. La perspectiva evolucionista implica la consecución en geografía de un entendimiento integrador de los hechos naturales y humanos, articulada a la filosofía del positivismo científico de Augusto Comte (1798-1857), y asumida por Friedrich Ratzel (1844-1904).

En resumen, la aplicación de los principios evolucionistas y de la filosofía positivista contribuyeron a la llamada "institucionalización de la geografía", donde el objetivo era desarrollar una ciencia que estableciera rigurosamente el encausamiento causal de los hechos y la aspiración al descubrimiento de leyes. Así se configuró, por otra parte, el llamado determinismo geográfico, que es, no solo una asunción de la influencia del medio físico sobre las actividades del hombre, sino también una búsqueda del riguroso encausamiento causal existente entre los factores físicos y los fenómenos humanos.

Mientras tanto, la participación de las sociedades de geografía en la tarea exploradora del siglo XIX fue muy importante, pero cabe señalar que, la geografía no se institucionalizó en las universidades por la acción de estas sociedades, la creación de cátedras de esta disciplina en los centros universitarios se hizo intensa a partir de 1860, y en general tuvo que ver con las necesidades de la enseñanza.

A fines del siglo XIX existe ya una amplia comunidad científica de geógrafos constituida esencialmente por los profesores de geografía.

Cartógrafos, geógrafos, geólogos y otros científicos constituyeron también durante este siglo comunidades científicas especializadas y diferenciadas, teniendo como antecedente la revolución científica del siglo XVII, con un gran desarrollo de las ciencias especializadas sobre todo en el siglo XVIII, con lo que se acentuó la pérdida de unidad en el conocimiento geográfico. "Aparece entonces una nueva geografía, que se define como la ciencia que estudia las distribuciones en el espacio y las interacciones entre fenómenos físicos y humanos en la superficie terrestre. La herencia de Humboldt es ahora plenamente recogida, y la geografía se configura como una ciencia nueva y aparte, en competencia con naturalistas, por un lado, y con historiadores por otro."⁵⁴

El determinismo geográfico -desarrollado a partir del triunfo de la razón positivista en el siglo XIX- cedió ante el desarrollo del posibilismo desde finales del siglo XIX, según el cual, el medio físico no determina las actividades humanas, sino que simplemente les ofrece posibilidades, que el hombre, como ser libre, utiliza o desaprovecha. Esta misma libertad, característica en el ser humano, hace que sea difícil alcanzar en este campo leyes generales.

El cambio de las posiciones ambientalistas y deterministas propias del pensamiento del siglo XIX, hacia el posibilismo, que sustenta la libertad humana y la contingencia de los fenómenos, así como la renuncia a la búsqueda de leyes generales y al riguroso encadenamiento causal de los hechos, propicia que se postule el carácter específico de las ciencias humanas y se afirme la división entre naturaleza y sociedad en el conocimiento. En particular, en el campo de la geografía, implica el persistente riesgo de la pérdida de unidad. "Al coincidir esta evolución con el desarrollo de una geografía humana sistemática, paralela a la geografía física, surgió también el peligro de la división de la ciencia geográfica, el cual se evitó poniendo el énfasis en el estudio regional como objeto específico de la disciplina."⁵⁵

⁵⁴ CAPEL, Horacio. URTEAGA, Luis. Las nuevas geografías. Salvat. 1982, p. 19.

⁵⁵ Ibid. p. 20.

Entonces, los estudios regionales pasan a ser el tipo de investigación más propio de la geografía, siendo sus principales exponentes: Paul Vidal de la Blache (1845-1918) en Francia, y Alfred Hettner (1859-1941) en Alemania.

El período de transición entre el siglo XIX y el siglo XX enmarca una sensible modificación del proyecto cognoscitivo geográfico. La geografía del siglo pasado, como ya se mencionó, es caracterizada por la científica positivista y la racionalista evolucionista, y será progresivamente sustituida por los planteamientos de la geografía clásica, como se ha llamado a la corriente típica en el desarrollo de la geografía en los albores del presente siglo, la cual se ha expandido hasta mediados del mismo.

La geografía regional surge en respuesta ante la crisis aguda del positivismo, que en geografía amenazaba con una profunda escisión, y nuevamente se presenta el peligro de la desmembración de la citada disciplina, propiciado por la inclinación positivista, misma filosofía que en el pasado había posibilitado su coherente articulación.

La geografía llamada clásica, tiene su fundamento en el concepto de región, entendida como el área delimitada y definida por sus características homogéneas, en la que se realizan las combinaciones particulares de fenómenos físicos y humanos, y caracterizada por un paisaje particular. Sin embargo, los problemas originados por el carácter único generalmente atribuido a la región (a cada región), y por la imposibilidad de llegar hasta el descubrimiento de leyes generales, evidenciaron el carácter idiógráfico de la geografía regional, la cual sería, el estudio de lo singular y único, presente en las combinaciones que se producen en el espacio de la superficie terrestre. El carácter nomotético, que tiene como objetivo la búsqueda de leyes universales, sería en todo caso propio de la geografía general. El problema de las relaciones entre la parte general y la regional de la geografía se plantea ahora con particular gravedad.

En general, la geografía regional de la primera mitad del siglo XX surgió como un intento de estructuración de las ramas física y humana de la geografía mediante la síntesis de las relaciones que se establecen en un marco espacial concreto y las combinaciones particulares de elementos que individualizan las distintas áreas de la superficie terrestre, el resultado es la síntesis regional.

La geografía clásica, acorde con el pensamiento científico propio de su tiempo, se configura como un conjunto de opciones que intentan defender la propia identidad del conocimiento geográfico amenazado por la crisis del pensamiento positivista y evolucionista, así como por la creciente especialización de la ciencia. Es común encontrar posiciones diversas y opuestas en varios autores sobre la identidad y el carácter de la geografía; por ejemplo, la polémica suscitada entre Barrows y Sauer, que sostienen puntos de vista diferentes con respecto al problema de la unidad de la geografía y que deriva a puntos de vista conciliadores, como en el caso de Hartshorne, quien sostiene que se debe evitar a toda costa que la geografía termine siendo absorbida por las otras ciencias, o bien, según la idea de Barrows, debemos buscar formulaciones que salvaguarden un campo específico para la geografía. "Los ejemplos podrían multiplicarse: la literatura geográfica clásica se encuentra plagada de multiformes argumentaciones sobre las características y las posibles soluciones de la insatisfactoria situación de indefinición epistemológica planteada. Situación de indefinición que, por lo demás, no hace sino expresar la decisiva pérdida de identidad de un campo del conocimiento que ha visto derrumbarse las anteriores bases sustentadoras de su proyecto cognoscitivo, y que, en relación con ella, se siente crecientemente acosado por el rápido y heterogéneo desarrollo especializado de otros espacios cognoscitivos. La resistencia frente a la creciente amenaza invasora de otros campos del conocimiento es una idea ampliamente generalizada en el panorama del pensamiento geográfico clásico."⁵⁶

En esta etapa del desarrollo de la geografía, las variadas tendencias pueden ser agrupadas en dos grandes perspectivas: la de los planteamientos generales o sistemáticos, y por otra parte, la de los enfoques regionales, aunque no en todos los casos, ambas perspectivas son tajantemente opuestas, si es posible diferenciarlas. Los estudios regionales se fundamentan preferentemente en la síntesis, mientras que los estudios de geografía general son esencialmente analíticos.

Destacan en la línea de la perspectiva general de la geografía

⁵⁶ GOMEZ, Josefina, et. al. El pensamiento geográfico. Alianza editorial. 1982, p. 53.

clásica William Davis y sus sucesores, así como el grupo de geógrafos de la universidad de Chicago R.D. Salisbury, Ellen Churchill Semple, Harlan Barrows, Thomas Griffith, etc. en los Estados Unidos, y en Francia Jean Bruhnes y Max Sorre.

En tanto que dentro de la perspectiva regional o corológica se puede citar a Paul Vidal de la Blache, Emmanuel de Martonne, Alfred Hettner, etc

La respuesta ante la crisis tiene resultados que no siempre son satisfactorios, ya que las dos grandes perspectivas (general y regional) muestran problemas y limitaciones. "Los partidarios de definir el conocimiento geográfico en términos preferentemente generales o sistemáticos disponen de articulaciones conceptuales y metodológicas bastante consistentes —y directamente vinculadas a los planteamientos de las ciencias naturales y, más concretamente, de las ciencias biológicas—, pero, como contrapartida, se mueven en un horizonte epistemológico que resulta en ocasiones difícilmente distinguible como específicamente geográfico."⁵⁷ Sucede así que el campo del conocimiento geográfico adquiere un cierto rigor conceptual y metodológico a cambio de diluir las supuestas fronteras que delimitarían la especificidad de ese conocimiento, y tendiendo a la especialización, ante el problema del mantenimiento de la generalmente deseada unidad de la geografía.

"Por su parte los partidarios de acotar el dominio del conocimiento geográfico en términos predominantemente corológicas o regionales intentan encontrar unas coordenadas epistemológicas —las definidas por el criterio corológico— que salvaguarden tanto su especificidad dentro del conjunto de las ciencias como su dimensión unitaria. Pero en este caso se plantean diversos problemas que remiten, por una parte, a la difícilmente sostenible ubicación de la geografía entre las ciencias naturales y las ciencias humanas —intentando abarcar simultáneamente ambos horizontes—, y por otra, a las dificultades existentes para articular, en el seno de la geografía clásica, planteamientos conceptuales y metodológicos internamente coherentes y científicamente adecuados para abordar la investigación corológica propuesta."⁵⁸

⁵⁷ GOMEZ, Josefina, et. al. El pensamiento geográfico. Alianza editorial. 1982, p. 91

⁵⁸ Ibid. p.91.

A pesar de los importantes esfuerzos realizados durante la llamada etapa clásica de la geografía, no han podido ser superadas las contradicciones referentes a los métodos, a los conceptos y a la propia unidad e identidad de la geografía. Los problemas han persistido y así como ha habido una tendencia general a buscar la integración de la geografía, también ha habido intentos de darle unidad a través de posiciones exclusivistas, ya sea en base al método de análisis o al de síntesis, desarrollando estudios regionales o generales, haciendo énfasis en el medio natural o en la actividad humana, etc.

Por otra parte también ha habido autores que llegaron a dudar explícitamente de la cientificidad del conocimiento geográfico; así por ejemplo "Henri Baulig, tras describir con cierto detalle el creciente desmembramiento del saber geográfico, plantea la posibilidad de que ese saber -del que asegura que no puede considerarse como una ciencia 'en el sentido habitual del término'- quede reducido a una cierta manera de considerar las cosas."⁵⁹ También se puede mencionar a Wooldridge y Gordon quienes sostienen que: "Al tratar de reunir aquí algunas de las líneas de ideas que hemos seguido, notamos en primer término que la geografía como ciencia no comprende ningún material específico ni tampoco ningún campo rígidamente delimitado, sino un punto de vista."⁶⁰

En resumen, puede afirmarse que, a pesar de los inaudables logros parciales, el pensamiento geográfico clásico, predominantemente dirigido hacia la perspectiva regional o corológica, no consigue articular en su conjunto, un proyecto de conocimiento geográfico epistemológicamente consistente y científicamente satisfactorio.

Posteriormente a esta etapa, caracterizada por el desarrollo de un pensamiento sensiblemente diversificado y heterogéneo, pero con una marcada tendencia a los estudios regionales y sintéticos, se da un viraje que incluye amplios campos de la ciencia, que en general se desarrolla dentro de la perspectiva del método analítico, esto implicaría profundas transformaciones en el saber geográfico.

⁵⁹ GOMEZ, Josefina, et. al. El pensamiento geográfico. Alianza editorial 1982, pp. 94-95.

⁶⁰ WOOLDRIDGE, S.W. GORDON, W. Significado y propósito de la geografía. Nova, 1957, pp. 189-190.

Durante los años de 1940 a 1960 se generalizaron en todas las ciencias humanas grandes cambios metodológicos relacionados con el resurgimiento del positivismo o neopositivismo, así como una amplia utilización de métodos cuantitativos para el manejo de grandes y crecientes cantidades de información. Estos cambios influenciaron tanto el dominio de la ciencia como el de la filosofía.

Se vuelve a insistir ahora en la vieja idea del positivismo sobre la unidad de la ciencia en la búsqueda de un lenguaje común, claro y riguroso, que permita dar validez general (o intersubjetiva) a los resultados. Se acepta otra vez el reduccionismo naturalista que considera a las ciencias de la naturaleza como el modelo de toda científicidad y se hace énfasis nuevamente en la explicación, en la búsqueda de leyes generales como opción para conseguir lo que ha de ser la auténtica meta científica: la predicción. Se postula también, la neutralidad de la ciencia, excluyéndose de ella los juicios de valor y afirmando el carácter objetivo y descriptivo del trabajo científico.

La aparición de tendencias neopositivistas en las ciencias sociales supuso un rechazo de los planteamientos historicistas, este hecho da lugar en el campo de la geografía a la aparición de lo que explícitamente se presenta como una "nueva geografía", con lo que se pretende estructurar una disciplina verdaderamente científica basada en la construcción de leyes generales. Este cambio se produce a partir de 1960, aunque se le han dado distintos calificativos. "A principios de la década de 1960 es ya perceptible la renovación, aunque se tienen dudas con respecto al calificativo que se le tiene que dar. Unos hablan de geografía teórica, y otros de revolución cuantitativa, expresiones ambas, que aun sin ser inexactas, solamente abarcan la mitad de la realidad. En definitiva, lo que fija el uso es un artículo de Peter Gould del año 1968: 'The new geography, where the movement is': la nueva geografía; la expresión hace fortuna puesto que se aviene perfectamente a la amplitud del proceso; lo que ha experimentado cambios es todo el arsenal de los enfoques, toda la óptica explicativa"⁶¹

Otro punto de vista señala que: "En la geografía de los años sesenta,

⁶¹CLAVAL, Paul. La nueva geografía. oikos tau. 1970, p. 10.

como en otras ciencias sociales, se produjo lo que se ha llamado 'revolución cuantitativa', que vino a transformar sustancialmente el panorama de los estudios geográficos. Primero en los países anglosajones, y luego progresivamente en otras áreas culturales, se ha desarrollado una geografía que se califica como cuantitativa o también teórica, por su énfasis en los aspectos teóricos y por la cuantificación de los fenómenos y procesos estudiados.⁶²

Las nuevas ideas surgieron primeramente en Suecia (en la escuela de Lund), y principalmente en los países anglosajones, primero en los Estados Unidos en el transcurso de la década de 1950 y luego en la Gran Bretaña en la década de 1960. Como desde el punto de vista regionalista era imposible aspirar a las leyes generales por el mismo carácter singular y específico que en cada caso presentan las combinaciones de fenómenos en cada región, esta nueva geografía trae consigo la desvalorización del estudio regional como tarea principal de la investigación geográfica. Ya en 1953 Fred K. Schaefer hizo una crítica a la posición que llamó excepcionalista definiéndola en los siguientes términos: "Kant postuló la posición excepcionalista no solo para la geografía, sino también para la historia. Según él, tanto la historia como la geografía se encuentran en una posición excepcional, diferente a la de las llamadas ciencias sistemáticas."⁶³

La crítica de Schaefer se centra en la unicidad de cada región y en el carácter historicista e idiográfico de la geografía regional de la primera mitad del siglo XX, e insiste en la necesidad de desarrollar la geografía general y el análisis deductivo.

Es importante señalar que la nueva geografía no rompe con la geografía practicada en el pasado, al igual que en todas las revoluciones científicas, las proposiciones que en el sistema de pensamiento precedente eran centrales aparecen como casos particulares o como verdades parciales incluidas en el nuevo sistema desarrollado.

Con referencia a cada problema concreto el primer objetivo será la elaboración de teorías, como punto de partida para interpretar los hechos observados. El trabajo empírico se sitúa ahora al final sirviendo

⁶² CAPEL, Horacio. URTEAGA, Luis. Las nuevas geografías. Salvat. 1982, p. 28.

⁶³ SCHAEFER, Fred. Excepcionalismo en geografía. Ediciones de la universidad de Barcelona. 1974, p. 44.

para comprobar la validez de las hipótesis formuladas en relación con una teoría. Tiene un lugar preeminente en la nueva geografía la idea de que, por debajo de la diversidad y de la compleja estructura que forman los fenómenos espaciales existe un orden que permite explicarlos, la búsqueda de este orden de los procesos espaciales sería la tarea del geógrafo. El campo de observaciones en el que se apoya la nueva geografía es pues, mucho más amplio que el de la geografía clásica. Pero ni la acumulación de datos ni su diversificación son en sí mismos unos progresos fundamentales en la evolución de una disciplina, ya que puede incluso ocurrir que la abundancia de material disuada abordar la fase más difícil del estudio, pero también la más fecunda que es la reflexión teórica. La geografía era considerada como una descripción razonada del mundo, no se pretendía poner de relieve la lógica interna de los hechos espaciales, sino describir lo más exactamente posible la realidad y utilizando datos retrospectivos seguir la evolución de las formas del paisaje y de las organizaciones territoriales.

La nueva geografía se preocupa mucho más por la explicación que por la reconstrucción histórica e intenta proponer una interpretación teórica de los fenómenos espaciales, ya que pretende encontrar unos principios a partir de los cuales sea posible comprender su articulación, captar su funcionamiento y reconstruir su lógica interna; y procede de acuerdo con el modelo hipotético-deductivo común a todas las disciplinas científicas, restano atención al método que en el pasado tuvo un gran desarrollo -sobre todo en las ciencias experimentales- y que es el inductivo.

Para los fines específicos de este trabajo es esencial no olvidar que la geografía y las matemáticas -especialmente la geometría-, tienen unos vínculos antiguos y estrechos que se remontan a la vieja geografía de posición y a los métodos de la cartografía. Estos lazos han acostumbrado a los geógrafos a razonar en términos de geometría plana (euclidianas). Los métodos modernos se basan en la crítica de tales postulados racionalistas, lógicos y evidentes por sí mismos, y a veces excesivamente abstraídos de la realidad. Tradicionalmente los teóricos más que acostumbrar, tenían la necesidad de situarse en condiciones especiales para deducir de sus hipótesis todas las consecuencias posibles.

Al respecto, por ejemplo en los estudios urbanos y de transportes se elegía una superficie de referencia (un plano perfectamente homogéneo) con iguales características de fertilidad, relieve, riqueza del subsuelo, clima, etc. Por ella se circulaba con auténtica facilidad o dificultad en todas direcciones, había la necesidad de referir tales variables a un sistema de referencia fijo y en reposo, bajo estricto control de los resultados.

La geometría de tales razonamientos en poco o nada se parecía a la realidad, compuesta generalmente por elementos irregularmente distribuidos (aglomeraciones, dispersiones, elevaciones, depresiones, etc.)

Entonces se ha evidenciado la necesidad de estudiar a la realidad con métodos y conceptos más complejos, porque subyacen a ella muchos factores de variada naturaleza que funcionan y evolucionan con ritmos diferentes.

El movimiento que ha dado origen a la nueva geografía prosigue y se radicaliza. Hoy más que nunca se ha centrado el interés en el hombre y en la sociedad, lo que obliga a una constante revisión de los métodos y a una reflexión más aguda sobre las aplicaciones de la disciplina. Los grandes debates sociales y políticos del mundo actual se observan más claramente cuando se consideran sus aspectos espaciales. Según palabras de Paul Claval, el proceso actual de transformación de la geografía se ha desarrollado así: "La geografía clásica tenía un punto de vista naturalista, y la nueva geografía ha adoptado una perspectiva social. A principios de la década de 1960, y para ilustrar las decisiones y los mecanismos de regulación, se confiaba en los métodos de las ciencias exactas o físicas: todos nos preocupábamos por el rigor, y parecía indispensable recurrir a los procedimientos matemáticos y estadísticos."⁶⁴ El mismo autor hace ver que se ha llegado a los excesos en el manejo del instrumental cuantitativo incurriendo a veces en una excesiva abstracción porque: "Desgraciadamente, muchas veces el perfeccionamiento de las estrategias de recolección y de tratamiento de los datos se ha convertido en un fin en sí mismo."⁶⁵

Ante esta situación se han presentado algunas reacciones, sobre todo

⁶⁴CLAVAL, Paul. La nueva geografía. oikos tau. 1979, p. 133.

⁶⁵Ibid. p. 133.

basadas en ideas referentes a la influencia del hombre y la sociedad en el conocimiento y transformación del entorno con el cual interactúan. Las apreciaciones, las decisiones y los comportamientos sujetos a descripción y explicación, no son unos objetos físicos que se puedan tomar del exterior. Muchas actitudes tienen sus raíces en la experiencia que cada individuo tiene del mundo. La geografía no puede ignorar el sentido de la vivencia.

El panorama configurado por las tendencias más recientes del pensamiento geográfico sigue siendo variado y complejo.

Por una parte, se han dado reformulaciones de la geografía clásica tanto regional como general, siendo importante el intento de superar en la geografía regional el problema de los límites, que en realidad tienen un carácter multifactorial superando ampliamente al limitado concepto de homogeneidad, base de la región. Los límites regionales aparecen múltiples y dinámicos, y los geógrafos se limitaban con frecuencia, a utilizar exclusivamente unidades administrativas o naturales, entre de las cuales se esforzaban por elaborar la síntesis regional. Entonces, la búsqueda de regiones funcionales organizadas mediante vínculos de interdependencia y complementariedad apareció como un camino viable.

Frente a la original uniformidad atribuida a las unidades regionales, ahora el fenómeno de noadividad es el que fundamentalmente permite explicar la organización regional, la unidad regional más que una unidad de terreno, una unidad de clima, una identidad de géneros de vida, es ahora, en gran medida, una unidad caracterizada por una diversidad coherente. El hecho significativo es ahora, en la geografía regional la búsqueda de su lógica interna basada en la articulación funcional, tanto de cada parte de la región, de la región misma, como del sistema en el que cada una de ellas se inscribe. Un elemento de crítica sobre el carácter único de la región y su uniformidad interna es que si la región es única, es decir, si cada parte del espacio es diferente, cada parte de la región puede serlo también, con lo que se pierda entonces la supuesta integridad basada en la homogeneidad de cada una de ellas. Por ello la geografía regional tradicional se vio en la necesidad de desarrollarse superando tal contradicción.

Por otra parte, ha surgido la perspectiva analítica con sus pro-

longaciones sistémicas, dentro de la cual se englobaría la llamada geografía cuantitativa, o sea que ésta es solamente una parte del desarrollo de la perspectiva analítica y deductiva de la geografía actual. La delimitación lógica del lenguaje científico, es la primera y fundamental operación que debe efectuarse para determinar rigurosamente las coordenadas definitivas del conocimiento geográfico, de esta manera cada disciplina que aspire a la cientificidad tiene que apegarse a una estricta utilización de la lógica matemática como punto de partida y fundamento, para que a partir de leyes y principios generales a través del método deductivo se estudien los fenómenos.

De esta perspectiva derivan los estudios locacionales, de difusión, de simulación analógicos, sistémicos, etc.

Se ha desarrollado también la perspectiva de la percepción espacial y del comportamiento espacial o geográfico que se basa en el postulado de que el conocimiento no existe independientemente del hombre, sino que debe partir de la experiencia humana del mundo. La geografía de la percepción se inscribe en el dominio de las concepciones fenomenológicas, desde este punto de vista se ubica en un plano cognoscitivo muy diferente del estrictamente configurado por la geografía analítica, y se opone más o menos explícitamente a algunos de los principios básicos asumidos por ésta, llegando incluso a criticar abiertamente el mantenimiento de los presupuestos positivistas y cientificistas, así como las pretensiones de objetividad de los geógrafos analíticos. Se hace una crítica a las ideas de que el medio se puede percibir tal cual es, o sea, a la supuesta "transparencia del medio", y de que el hombre como agente o sujeto cognoscente, puede clasificar los hechos según una escala de preferencia única y racional, esto es, "la racionalidad de elección", estos postulados permitían unas formulaciones matemáticas rigurosas similares a las de las ciencias físicas.

La mente humana, desde el punto de vista de la geografía de la percepción -entre cuyas funciones está la percepción del medio, la elaboración de imágenes acerca del mismo y la toma de decisiones tendientes a modificarlo- es un campo fundamental e insoslayable de investigación geográfica, para cuyo tratamiento es preciso basarse en un aparato conceptual y metodológico procedente de la psicología.

Se afirma que, la realidad estudiada es una composición mental en gran medida, resultante de una selección y una estructuración subjetiva

a partir de la información emitida por el entorno. Dado su carácter subjetivo, aunque sus elementos procedan del medio físico, dicha composición está influida por la personalidad, la cultura, los intereses, y en general, por todo lo que constituye el punto de vista del observador o sujeto. Al respecto se han elaborado "mapas mentales" en los que se vierte información comparativa sobre una representación cartográfica y una síntesis de los datos acerca de como una determinada población percibe el espacio de acuerdo a los intereses, motivaciones, hechos significativos, etc., con lo cual se evidencian diferencias notables en cuanto a distancias, áreas, posiciones, etc., entre ambas representaciones, (ver figura No 3).

Por último, existe una corriente desarrollada en la geografía actual denominada geografía radical, estrechamente relacionada con los fundamentos de la filosofía marxista. Esta corriente en buena medida se presenta como una crítica a la confianza, a veces excesiva y arrogante de los geógrafos analíticos en sus fundamentos conceptuales, en su eficacia metodológica y, en última instancia, en la homologación científica del sistema del conocimiento geográfico y, por otra parte, como la autociencia de que solo en base a la constante revisión crítica de los fundamentos de la geografía, ésta podrá ir trascendiendo a la situación actual para poder abordar problemas tanto de las limitantes de su desarrollo, como de la puesta en práctica de una geografía comprometida con la sociedad tendiente a equilibrar el desarrollo económico y espacial, conceptos ambos que en esta perspectiva son inseparables.

La geografía radical hace una tenaz crítica al conservadurismo o ideologismo científicos, y propone reasumir el compromiso con la práctica social. Nuevamente aparece el aspecto histórico como necesario para el estudio de la realidad, se estudian las desigualdades desde el punto de vista del desarrollo histórico de la sociedad, para muchos geógrafos radicales son problemas fundamentales: la situación en el medio rural, la cuestión urbana, el subdesarrollo, la pobreza y la marginación, los intercambios desiguales, etc. Se entiende en general al espacio estudiado por la geografía, como un producto de los procesos de producción históricamente actuantes en el seno de las estructuras económicas y sociales. La historia económica constituye un elemento imprescindible para la geografía radical.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Sin duda las tendencias descritas, surgidas a lo largo de la evolución de la geografía son muy complejas y variadas, algunas se han desvalorizado para aparecer después expuestas de una manera más desarrollada, e bien se han mantenido vivientes, presentándose un panorama aun muy distante de un acuerdo generalizado con respecto a los fundamentos e identidades de la ciencia geográfica.

En la geografía actual, a la vez que las perspectivas clásicas se han prolongado de una manera más o menos corregida, cada uno de los planteamientos más recientes como parte de lo que se ha llamado "nueva geografía" (analíticos y sistémicos, fenomenológicos, radicalos, etc.), han aportado indudablemente nuevos puntos de vista y nuevas posibilidades de conocimiento que, tienen por objetivo reforzar los fundamentos de la geografía.

Existen importantes problemas por resolver, sobre todo en lo referente a las bases teóricas y metodológicas de la geografía, siendo un hecho significativo tanto en la geografía como en toda la ciencia, el que hasta ahora ningún método científico o filosófico hayan podido demostrar su superioridad de una manera definitiva sobre los demás, aunque es cierto que, ha habido etapas dominadas e caracterizadas por la utilización de unos u otros métodos, por ejemplo: la genialidad griega fue deductiva más que inductiva y dominó por ello en el campo de las matemáticas. En las épocas siguientes, las matemáticas griegas fueron casi olvidadas, mientras otros productos de la pasión griega por la deducción sobrevivían y florecían, sobre todo la teología y el derecho. En esta cultura no es considerable la práctica del método experimental. Por otra parte, los árabes desarrollaron más la práctica experimental que los griegos. Los árabes buscaban estudiar fenómenos aislados, no prestaban interés a la búsqueda de leyes generales, por lo que no tuvieron la facultad de deducir los principios que rigen los hechos que habían observado. Posteriormente, en la edad media no se admitía ninguna generalización que no proveniese de la teología, incluso toda actividad intelectual fue perseguida, sobre todo si contraecía algún principio religioso.

En el campo de la geografía es importante señalar que durante su primer auge en la cultura helenística era esencialmente deductiva por estar ligada a las matemáticas; posteriormente los fundamentos deduc-

tivos se reafirmaron con el pensamiento humboldtiano y ritteriano, seguidos por la época del desarrollo de la racionalidad positivista y el evolucionismo; la crisis de estos últimos sistemas de ideas provocó la caída de los fundamentos racionalistas y deductivistas para desarrollarse a principios del siglo XX un pensamiento basado en el estudio de fenómenos aislados y consideraciones únicas como es el caso del predominio de la geografía regional. Por último, en gran medida la ciencia ha centrado nuevamente su interés en los métodos deductivos, con un gran énfasis en la búsqueda de los principios generales que sustentan a las enormemente variadas manifestaciones de la realidad, fenómeno acentuado por la creciente influencia de las actividades humanas, en tanto que se han desvalorizado los métodos inductivos propios de la ciencia experimental que tuvo un gran desarrollo en los siglos XVIII y XIX. Asimismo, el análisis ha tomado una posición importante ante la disminución del interés por la síntesis regional, característica de la geografía de la primera mitad del presente siglo.

Existe un acuerdo general de que para lograr la unidad de la geografía es necesario erradicar las posiciones excluyentes como base para la investigación, si bien, el fortalecimiento en el uso de los métodos generales de la ciencia apoya este objetivo, es necesario el planteamiento de un sistema que integre en una misma unidad la diversidad de puntos de vista, métodos utilizados y enfoques, tal sistema debe superar sus propias contradicciones producto de la evolución permanente de la realidad, del pensamiento y del mismo conocimiento.

Con respecto a los métodos de investigación, Mendieta cita dentro de la metódica a los procedimientos deductivos e inductivos "podemos dividir en dos grandes sistemas a la metódica, uno de ellos, el que comprende a los métodos de la deducción y la otra parte que es el área de la inducción."⁶⁶ Aunque Russell -como ya se mencionó- incluye como métodos de la ciencia: análisis, síntesis, deducción e inducción; por otra parte, "La filosofía tiene los siguientes métodos para el descubrimiento de la verdad: Metafísicos, Dialéctico, Trascendental y Fenomenológico."⁶⁷

⁶⁶ MENDIETA, Angeles. Métodos de investigación y manual académico. Porrúa. 1986, p. 34.

⁶⁷ Ibid. p. 47.

El panorama actual del pensamiento geográfico se encuentra todavía lejos del acuerdo suficientemente generalizado sobre la caracterización epistemológica conceptual y metodológica de la geografía.

Se ha insistido acerca de: "Lo que por supuesto, se necesita en geografía es la iniciación de un proceso intelectual más continuo que reconozca que cualquier sistema y cualquier interpretación requieren imprescindiblemente una ulterior valoración a la luz de un sistema más completo y amplio."⁶⁸ Por otra parte, "La ciencia, como proceso que es, vive de la renovación de sus puntos de vista; su progreso, es cierto, procede también mediante el crecimiento lateral, pero de manera predominante lo hace hacia delante, mediante un empuje frontal de reconstrucción."⁶⁹

Es necesario admitir honestamente que, aunque una teoría que fue fecunda en una fase determinada del desarrollo de una ciencia, puede quedar anticuada en los estudios subsiguientes de la misma, lo cierto es que las teorías vigentes en los diferentes períodos históricos, son puzos sucesivos del progreso del conocimiento que se va logrando a través de una suma de verdades relativas. En su apertura de nuevos horizontes, para el conocimiento, la teoría misma debe desarrollarse y evolucionar, pues en caso contrario se convertirá en su propia antítesis y terminaría por transformarse en dogma. De allí la necesidad de que la geografía trascienda al campo al que ha quedado limitada, con el riesgo persistente de su progresiva escisión.

Se tiene a disposición un riquísimo conjunto de métodos y teorías científicos y filosóficos consagrados por la práctica a lo largo de la historia. Aceptando que el conocimiento es uno solo (la unidad de la ciencia), y que hoy más que nunca se tiende a homologarlo a través del lenguaje lógico-matemático, es necesario a la vez aceptar que: "Sin embargo, aunque la capacidad de una disciplina científica de emplear muchos métodos es una prueba consistente de la unidad de los procesos de conocimiento, lo cierto es que cada ciencia posee siempre su propio método fundamental, su propia base metodológica."⁷⁰

⁶⁸ BERRY, Brian. "Un paradigma para la geografía moderna". en: Chorley Richard. Nuevas tendencias en geografía. 1975, p. 21.

⁶⁹ BARTELS, Dietrich. "Entre la teoría y la metateoría". Ibid. p. 41.

⁷⁰ ANUCHIN, V.A. "Teoría de la geografía". Ibid. p. 85.

La geografía debe entonces, fortalecer sus fundamentos con base en los métodos generales de la ciencia y la filosofía, pero también con el enriquecimiento de los métodos propios —como los de la geografía general y regional—, no olvidando que, tanto el conocimiento como la naturaleza presentan una correspondencia y una concatenación en todos sus niveles, ya que no existen ni fenómenos ni ideas aislados absolutamente, o sea, independientes en lo absoluto del todo, que es el universo, y este concepto incluye tanto a la realidad como a la conciencia cognoscente.

Por otra parte, no hay que olvidar que el mundo físico, en todos sus niveles se reduce a las cinco categorías básicas que son: espacio, tiempo, materia, energía y movimiento, categorías que son abordadas por las distintas ciencias con sus respectivos métodos; entonces la geografía puede trascender del estudio del espacio, al estudio del tiempo, el movimiento, y así sucesivamente hasta abarcar el estudio integral de los fenómenos de la realidad, pero en base a su fundamento espacial como punto de partida. En otras palabras, la geografía puede estudiar la realidad que incluye transformaciones que implican transferencias de materia y energía a través del tiempo —y esencialmente— en el espacio, en el espacio geográfico, que es su objeto de estudio.

La evolución que ha tenido la geografía, explicada en términos generales en las páginas anteriores, expone la gran diversidad de corrientes y puntos de vista en que se ha desarrollado desde principios de nuestra era hasta la actualidad.

De acuerdo a lo expresado, y a manera de posición personal, se puede partir de un concepto de geografía bajo los siguientes términos: la geografía es la ciencia que estudia la estructura y la dinámica espacial de los fenómenos (físicos, biológicos y sociales) que evolucionan básicamente sobre la superficie terrestre, es decir, en el espacio geográfico. Sin duda, toda definición requiere de una explicación, la idea de geografía mencionada será revisada en el siguiente capítulo de acuerdo a los principios ya desarrollados de la teoría de la relatividad.

La estructura y la dinámica de los fenómenos que se producen en la superficie terrestre se pueden sintetizar en los principios geográficos (localización, distribución e interrelaciones causales), que

son similares a las propiedades esenciales del espacio que considera la geometría, ciencia que tuvo un origen común con la geografía.

El objeto de estudio de la geografía es el espacio terrestre o geográfico, en particular, el espacio que se ubica en las zonas de contacto de las grandes capas de la tierra: litosfera, hidrosfera y atmósfera, en las que se ha desarrollado la biosfera.

Por último, como una extensión del concepto de geografía aquí adoptado, los principios geográficos se consideran como los pasos sucesivos -fundamentales e imprescindibles- para el estudio de la estructura y la dinámica espacial de los fenómenos de la superficie terrestre. Todo estudio de esta disciplina debe comenzar por asociar los fenómenos (poblaciones, lugares, rasgos, procesos, etc.) a un sistema de referencia (coordenadas geográficas). Estas nociones centrales de la geografía (principios y objeto de estudio) se estudian en las dos secciones siguientes.

5.1. EL OBJETO DE ESTUDIO DE LA GEOGRAFÍA.

El espacio es una propiedad común a todos los procesos existentes. La relación espacial es la forma elemental en que se expresa la concatenación entre todos los procesos constituyentes del universo. Esta misma vinculación permite observar que el espacio no es ni abstracto ni absoluto, ya que subyace a todos los fenómenos o procesos, es parte de ellos, y a la vez los procesos son espaciales, el espacio no es como se consideraba en el pasado, un recipiente vacío en el cual se encontrasen inmersos los objetos materiales, el espacio es también material. "Simplemente, el espacio es el conjunto de las propiedades espaciales que son inherentes a los procesos objetivos y representan una forma de su existencia. Por lo tanto, hablando con todo rigor, los procesos no existen en el espacio, sino que su existencia es espacial."⁷¹

Los fenómenos de la realidad o mundo físico, considerado en su totalidad, se encuentran vinculados por el movimiento, por ello es que a su vez se consideran como procesos, ya que en el universo no

⁷¹ GORTARI, Eli de. Dialéctica de la física. Oceano. 1986, p. 31.

hay fenómenos estáticos e inmutables del todo interrelacionado y concatenado que lo constituye. Los fenómenos o procesos, en su infinita variedad de manifestaciones se reducen a las categorías básicas: espacio, tiempo, materia, energía y movimiento, las cuales son comunes al conjunto del universo. Todo fenómeno tiene una existencia espacial y en su evolución experimenta transferencias o transformaciones de materia y energía, esto se da a través del tiempo. Entonces, es importante señalar que la realidad que estudia la geografía sobre la superficie terrestre se puede reducir sistemáticamente a tales categorías. En este estudio es fundamental la relación espacio-tiempo que, desde el punto de vista de la teoría de la relatividad se encuentra dada por el movimiento, como se verá, algunos geógrafos han insistido ya en este punto fundamental para el desarrollo de la disciplina que nos ocupa, por ejemplo Harvey sustenta que: "Hice unas pequeñas especulaciones acerca de la naturaleza de la teoría geográfica sugiriendo que disponemos de una teoría propia en cuanto a la forma espacial y de teorías derivadas cuando se trata de los procesos temporales, y que la teoría general en geografía supondría un exámen de las interacciones entre procesos temporales y forma espacial. Esta sugerencia es obviamente controvertida y muchos la rechazarán. Pero estoy dispuesto a defenderla como principio básico del pensamiento geográfico."⁷²

Toda teoría del espacio requiere de un modelo, y los modelos fundamentales sobre las propiedades del espacio han sido formulados por la física y las matemáticas, de aquí la importancia de su estudio en un nivel básico de la geografía. Pero es muy importante señalar que para poder estudiar y transferir conceptos y teorías de las ciencias naturales y exactas a las ciencias sociales existe una importante diferencia, que radica en que las ciencias naturales no incluyen al hombre, en tanto que las ciencias sociales lo colocan en una posición central, y el estudio que incluye al hombre es inseparable de juicios subjetivos. Como se verá, en el estudio del espacio geográfico la percepción, la concepción y la utilización del espacio mencionado están impregnadas del elemento subjetivo, sobre todo desde el punto de vista fenomenológico. No es que en las ciencias sociales no se pueda

⁷²HARVEY, David. Teorías, leyes y modelos en geografía. Alianza editorial. 1983, p. 479.

formular leyes, sino que estas han de tener en consideración la intervención del hombre y la sociedad, en este sentido las leyes sociales han de tener como base a las naturales —ya que el hombre no deja de ser natural—, pero las leyes sociales deben tener mayor complejidad precisamente por incluir a la enorme variabilidad de manifestaciones producto del pensamiento y la acción humana.

Para aclarar esto basta un ejemplo: desde el punto de vista de la física, el tiempo tiene una sola dimensión que se caracteriza por el devenir, por la evolución de los fenómenos, o sea que, se manifiesta por el paso continuo del futuro al pasado en una sucesión lineal. Por otra parte, el hombre tiene una percepción, una vivencia muy compleja del tiempo, teniendo una importancia vital el llamado tiempo presente, que es el peso ineludible del futuro hacia el pasado, se recuerda el pasado, se espera al futuro, pero se vive y se decide en el presente.

De la definición de geografía adoptada aquí, se desprende que el espacio de la superficie terrestre (geográfico) es su objeto de estudio, lo cual se describe a continuación.

Para Fred Schaefer la geografía y su objeto de estudio se han delimitado así: "la ciencia no está tan interesada en los hechos individuales como en los patrones que presentan. En geografía las variables fundamentales desde el punto de vista de la elaboración de patrones son naturalmente las espaciales, están regidas por leyes. Para esta nueva clase de trabajo deben facilitarse instrumentos en forma de conceptos y leyes. De aquí que la geografía tenga que ser concebida como la ciencia que se refiere a la formulación de leyes que rigen la distribución espacial de ciertas características en la superficie de la tierra. Esta última limitación es esencial: con el notable desarrollo de la geofísica, la astronomía y la geología, la geografía ya no puede seguir tratando de todo nuestro planeta, sino solo de la superficie del mismo y de los fenómenos terrestres que ocupan su espacio."⁷³ Más adelante Schaefer pone de manifiesto que ya Humboldt y Ritter habían reconocido el espacio terrestre como objeto de estudio de la geografía: "Humboldt y Ritter reconocieron como el

⁷³ SCHAEFER, Fred. Excensionalismo en geografía. Ediciones de la universidad de Barcelona. 1974, pp. 33-34.

objeto fundamental de la geografía es el estudio de la forma en que los fenómenos naturales, incluyendo el hombre, se distribuyen en el espacio. Esto implica que los geógrafos deben describir y explicar la forma en que las cosas se combinan para ocupar un área."⁷⁴

Mientras que, para Dollfus: "En su sentido más amplio, el ámbito del espacio geográfico es la 'epidermis de la tierra' (J. Tricart), es decir, la superficie terrestre y la biosfera. El espacio geográfico es 'el espacio accesible al hombre' (J. Gottman), usado por la humanidad para su existencia. Por lo tanto, incluye los mares y los aires."⁷⁵

Harvey sostiene que: "Toda la práctica y toda la filosofía de la geografía dependen del desarrollo de un marco conceptual que permita manejar la distribución de objetos y fenómenos en el espacio."⁷⁶

Por su parte Joly afirma que: "El espacio geográfico es el constituido por la superficie terrestre, considerada en su totalidad o en una de sus partes, bajo el aspecto sensible en que se revela mediante los datos de la experiencia humana. Tomado en su conjunto, el espacio geográfico así concebido sobrepasa sensiblemente los límites del 'ecúmeno', o espacio habitado, a los que se ha supuesto restringirle alguna vez. Los océanos, los mares, los paisajes minerales o helados de las altas latitudes y altitudes forman también parte del espacio geográfico. Ocupa además un cierto espesor, puesto que comprende a la vez parte de la litosfera, la baja atmósfera, la hidrosfera y la biosfera."⁷⁷

"La geografía encuentra así un horizonte epistemológico específico y lógicamente delimitado que remite al estudio de la ordenación espacial de la superficie terrestre, al estudio de las distribuciones espaciales y de las diferencias locales de esa superficie."⁷⁸

De lo anteriormente expuesto se deriva que si existe algún elemento

⁷⁴ SCHAEFER, Fred. Excepcionalismo en geografía. Ediciones de la universidad de Barcelona. 1974, p. 34.

⁷⁵ DOLLFUS, Olivier. El espacio geográfico. oikos tau. 1976, pp. 7-9.

⁷⁶ HARVEY, David. Teoría, leyes y modelos en geografía. Alianza universidad. 1983, p. 204.

⁷⁷ JOLY, Fernand. La cartografía. Ariel. 1979, pp. 36-37.

⁷⁸ GCMEZ, Josefina, et. al. El pensamiento geográfico. Alianza editorial. 1982, p. 72.

de continuada en las diferentes concepciones acerca del objeto de la geografía, este es el espacio geográfico, o espacio que tiene como centro de acción a la superficie terrestre.

La superficie terrestre es una noción que por ser muy general, se puede prestar a ambigüedades, de allí la necesidad de analizarla con el fin de esclarecer su esencia y sus límites, que son cambiantes al igual que la realidad y los conceptos. De acuerdo con V.A. Anuchin: "La materia propia de la geografía, dentro de la esfera geográfica de la tierra, aparece como una síntesis de todas las esferas próximas a su superficie que integran un sistema interactivo. Son éstas la litosfera, la hidrosfera (incluido el fondo de los mares y océanos), la atmósfera, la biosfera y la biosfera (o neosfera). La última, al igual que la biosfera, une a las gentes con sus complejos ambientales, constituyendo un componente de recíprocas reacciones de la esfera geográfica."⁷⁹ La esfera geográfica entonces, es un complejo de sistemas que se desarrolla y evoluciona a través de las influencias mutuas de diferentes clases de fenómenos (físicos, químicos, sociales y biológicos), y en el que las aceleradas interacciones del hombre con el resto de la naturaleza han llevado a su humanización y a su transformación en un medio o entorno apto para el desarrollo social.

Antiguamente se limitaba el ámbito del espacio estudiado por la geografía al ecúmene (las zonas habitadas por el hombre), pero se ha extendido al área de influencia de las actividades humanas; de acuerdo con el concepto de Anuchin, la esfera geográfica o espacio geográfico sería, resumiendo: la zona donde inciden tanto la estructura como la dinámica de las principales capas de la tierra (litosfera, atmósfera e hidrosfera), estas se considerarían como abióticas y también se les ha llamado en su conjunto geosfera; por otra parte, las capas que se han considerado como bióticas (la biosfera y, como una parte de ella, pero con un nivel de desarrollo superior, la biosfera), todas estas constituyen en su conjunto el todo interrelacionado y concatenado que es la realidad objetiva que se manifiesta sintéticamente en el paisaje, ya sea visto desde el punto de referencia general o sistemático

⁷⁹ ANUCHIN, V.A. "Teoría de la geografía" en: Chorley, Richard. Nuevas tendencias en geografía. 1975, pp. 75-76.

como regional o corológico. En realidad tanto el análisis como la síntesis, así como las partes general y regional, o los elementos físicos y sociales vinculados con la geografía deben aparecer en forma de fundamentos contradictorios y a la vez complementarios integrados en el cuerpo general del conocimiento geográfico, ya que las posiciones exclusivistas (o excluyentes) llevadas a un plano más radical, absolutista, han conducido a perspectivas dogmáticas en el desarrollo histórico de la ciencia, esto no quiere decir que se han de adoptar posiciones condescendientes y conciliatorias, sino más bien, se requiere una sólida base crítica cimentada en la aceptación del desarrollo progresivo de la ciencia, así como en el concepto de aproximaciones sucesivas a la verdad, la cual no se ha de satisfacer plenamente en relación a una posición o a un sistema determinado de ideas.

El espacio geográfico es material, es real y concreto, pero al mismo tiempo es un espacio cambiante, mutable, que evoluciona a lo largo del tiempo, por lo cual es diferenciable espacial y temporalmente, se ha considerado que cada parte del espacio es única por la diferente intensidad y por las diferentes combinaciones de sus factores, que lo transforman, pero desde el punto de vista de la ciencia, lo esencial es la descripción y la explicación de las regularidades, de las múltiples relaciones (de la formulación de leyes) que subyacen a lo aparente. La realidad se forma dialécticamente por la interacción objeto-sujeto en el proceso del conocimiento.

A continuación se describen las características básicas del espacio geográfico, que en general, en la actualidad tienen una marcada tendencia a ser consideradas desde el punto de vista del análisis de sistemas. El espacio geográfico se presenta pues, como el soporte de unos sistemas de relaciones, determinándose unas a partir de los elementos del medio físico (clima, suelo, vegetación, hidrografía, etc.), otras que son procedentes de las organizaciones humanas en sociedad (sistema político, sistema económico, organización territorial, etc.) que ordenan el espacio en sus interrelaciones mutuas.

Como primer paso de la gestión geográfica se deben localizar los puntos (lugares) del espacio relacionados a un sistema de referencia (coordenadas), con respecto al cual adquieren determinados valores.

Dollfus advierte que localizar quiere decir indicar las coordenadas geográficas (latitud, longitud y altitud) del elemento estudiado, pero consiste principalmente en definir el lugar y la posición. El estudio de la localización mediante el análisis del lugar y la posición lleva al reconocimiento de los sistemas que organizan el espacio. Mientras que el lugar es el asiento territorial de un elemento del espacio, la posición depende de el sistema de relaciones que mantiene tal elemento con otros elementos, ya estén próximos o alejados. Dialécticamente, lugar y posición están vinculados, pero se trata de dos nociones al propio tiempo distintas y complementarias. En otras palabras, el lugar es el asiento o el emplazamiento de un elemento del espacio (ciudad, campo industrial, puerto, montaña, etc.), y la posición es la categoría de dicho elemento con respecto a un sistema de relaciones con otros elementos, con los que en conjunto constituyen un sistema espacial. Como espacio localizable, el espacio geográfico es cartografiable, siendo la cartografía "el único procedimiento gráfico que permite una representación real del espacio geográfico. Puede intervenir en cualquier momento del análisis, de la definición y de la interpretación de dicho espacio."⁸⁰ La cartografía y el mapa son los elementos básicos, imprescindibles para toda investigación geográfica por excelencia.

Cada lugar, cada fenómeno, cada proceso, tienen una personalidad y una identidad, ningún paisaje, ningún elemento del espacio, ninguna región es estrictamente igual a las demás, aun si se acepta que cada unidad de estudio es única, es posible tener un acercamiento constante a la verdad con el desarrollo de la ciencia geográfica si se tiene como objetivo primordial el establecer las leyes que rigen la acción espacial, esto es, la búsqueda de la homogeneidad, de la sistematización. Renunciar a la búsqueda de las leyes que rigen la existencia material es renunciar al ideal de la ciencia.

La homogeneidad es la consecuencia de la repetición de determinado número de formas, de un juego de combinaciones que se reproducen de una manera parecida, aunque no perfectamente idéntica, en una superficie determinada. Pero como consecuencia de las desigualdades que

⁸⁰ JULY, Fernand. La cartografía. Ariel. 1973, p. 36.

se presentan, incluso dentro de las familias de formas y de sistemas, el espacio geográfico se presenta dotado de cierta "tragedia", que hace que las comparaciones y las esquematizaciones rápidas sean más difíciles, o bien menos cojetivas. No obstante, al mismo tiempo que muestra lo que constituye la originalidad de su esfera, el geógrafo que analiza el espacio localizado y diferenciado, se esfuerza al mismo tiempo por poner de relieve los elementos de comparación que permiten el reagrupamiento de los principales elementos, de las formas, de los sistemas y de los procesos en grandes familias.

La homogeneidad nace de un sistema de relaciones que determina unas combinaciones que se repiten, análogas en una determinada fracción del espacio geográfico. El término homogéneo ha sido expresado también por el de isoesquemas, que son subdivisiones del espacio geográfico, jerarquizadas por su magnitud.

El análisis de cualquier parte del espacio objeto de la geografía, o de cualquier elemento que interviene en su composición, así como de cualquier combinación de procesos que actúan en y sobre el espacio, no deviene inteligible, a menos que se lo considere dentro del contexto de un sistema de escalas de magnitud. "El análisis de la homogeneidad del espacio sólo es esclarecedora cuando recurre a la noción de escala, de taxonomía de los fenómenos, e implica el estudio de áreas de extensión de las formas y de los sistemas, y de los procesos que los engendran, por el camino de las consecuencias. Este análisis plantea el problema de la relación de las formas dentro de conjuntos más vastos, y únicamente él permite las comparaciones que nutren la cultura geográfica. Es por ello que se sitúa en el centro de la reflexión geográfica."⁸¹

Al cambiar de escala, los fenómenos cambian no solamente de magnitud, sino también de naturaleza. Por ejemplo: una ciudad de un millón de habitantes no puede compararse con veinte aglomeraciones de cincuenta mil personas, a pesar de que el total de la población es equivalente, porque un mismo término está aplicado a dos realidades diferentes. El equipamiento urbano y los servicios, así como el ritmo de vida de los habitantes, no son iguales en una aglomeración masiva y en una de escaso

⁸¹ DOLLFUS, Olivier. El espacio geográfico. oikos tau. 1976, p. 23.

ESCALAS DE LOS CONJUNTOS ESPACIALES ISOGESQUEMAS

CLASE	DENOMINACION	EJEMPLOS Y CORRESPONDENCIAS	ORDENES DE MAGNITUD	ESCALA DE ESTUDIO
I	ZONA	Primer orden de magnitud. Ej.: la zona tropical, el Asia monzónica. El conjunto de las cordilleras del oeste de América.	10^7 km^2	1/10.000.000 o menos
II	DOMINIO	Segundo orden de magnitud. Ej.: el espacio renano, los Alpes.	10^6 km^2	1/1.000.000 a 1/5.000.000
IIIa.	PROVINCIA	Tercer orden de magnitud. Ej.: España mediterránea, los Pirineos españoles.	10^5 km^2	1/500.000
IIIb.	REGION	Cuarto orden de magnitud. Ej.: Galicia, los Pirineos catalanes.	10^4 km^2	1/200.000 a 1/100.000
IV	COMARCA	Quinto orden de magnitud. Ej.: el viñedo riojano, el Ampurdán.	500 a 1.000 km^2	1/50.000 a 1/20.000
V	DISTRITO	Sexto y séptimo órdenes de magnitud. Ej.: partido judicial, barrio de una ciudad.	5 a 50 km^2	1/10.000 a 1/5.000
VI	MANZANA	Formas hectométricas. Ej.: manzana de viviendas, zona parcelada.	1 ha. a 1 km^2	1/2.000 a 1/1.000
VII	PARCELA	Séptimo y octavo órdenes de magnitud. Biotipo, inmueble, microforma.	1 área a 1 ha.	1/500 a 1/100

FIGURA N° 16. Se observa en este cuadro de Roger Brunet y simplificado por Dollfus el sistema de conjuntos espaciales isoesquemas, donde las fracciones jerárquicas del espacio están ordenadas de acuerdo a la escala y a las dimensiones o magnitud.

poblamiento. La utilización de un mismo término induce a ambigüedades y a confusiones cuando engloba realidades de distinto orden dimensional.

Partiendo de la clasificación de acuerdo con la escala y las dimensiones de los fenómenos (o accidentes geográficos), es posible ver como se entrelazan las combinaciones y analizar la acción de los procesos. Este trabajo de sistematización -como se observa en la figura N° 16- de los diversos niveles espaciales es muy esclarecedor en el estudio de la gran diversidad de manifestaciones de la realidad.

Solamente a través de una sucesión de análisis sistemáticos que se lleven a cabo en todas las escalas y con técnicas e instrumentos adecuados a cada una de ellas, se podrá llegar a una explicación coherente e integral del paisaje, de las formas y la dinámica que lo caracterizan.

En el espacio geográfico, cada unidad funcional y fisiográfica que posee una identidad y está localizada, es una estructura, y cada estructura está recibida y organizada por un sistema. De acuerdo con Dollfus: "Cualquiera que sea la naturaleza de los fenómenos analizados, el geógrafo efectúa una misma gestión tendiente a descomponer su ámbito en conjuntos homogéneos por su fisiografía o sus funciones; los delimita, y ve sus articulaciones y sus interferencias."⁸² Entonces, es necesario destacar la originalidad (o la singularidad) de cada conjunto, observando al propio tiempo las similitudes, las repeticiones que coinciden entre conjuntos pertenecientes a una misma clase y a una misma familia, tanto si la similitud es formal como si es funcional.

Frente a cada estructura o conjunto de estructuras el geógrafo debe cuestionarse cuáles son los sistemas que la organizan y que rigen su evolución. Las relaciones entre estructuras geográficas de la misma naturaleza, clasificadas a un mismo nivel, o entre estructuras cuya naturaleza es diferente, pero que están unidas por interrelaciones, se establecen por conducto de los sistemas. Estos permiten las transferencias de materia y energía, los intercambios y las transformaciones.

Como complemento del análisis del espacio geográfico, considerado como un sistema, que posee estructuras que se reparten en él y lo articulan, y a su vez cada elemento manifiesta su movimiento (dinámica) mediante funciones determinadas por el mismo sistema, es necesario delimitar las unidades o estructuras del espacio, lo que hace posible definir el área de extensión en que se manifiestan, y las densidades de las partes componentes en cada nivel de estudio. Desde este punto de vista, se insiste en que se debe utilizar un lenguaje lógico y articulado, donde los conceptos anteriores deben poder ser referidos como variables objeto de un manejo cuantitativo, y complementado por una taxonomía basada en la jerarquización del espacio de acuerdo a la escala. El manejo de las variables desde el punto de vista del

⁸² DOLLFUS, Olivier. El análisis geográfico. oikos tau. 1978, p. 33.

lenguaje matemático, es considerado actualmente como el método más propio para lograr que las ciencias sociales sean más racionales y científicas, superando la utilización del lenguaje verbal y metafórico que lleva a imprecisiones y subjetividad.

Una estructura geográfica localizada jamás es del todo idéntica a otra estructura, por el mismo hecho de que posee una individualidad espacial. Se puede partir del estudio de las diferencias de los sistemas, respetando su singularidad, pero ello implica la pérdida de inteligibilidad, puesto que el pensamiento se enfrenta a una diversidad impermeable a cualquier comparación, de unas realidades radicalmente heterogéneas. Después pueden estudiarse las similitudes y se gana en inteligibilidad ya que entonces es posible sistematizar la información, pero quedarían ocultas las diferencias reales que constituyen la singularidad, dentro de una totalidad homogénea con unos límites arbitrariamente establecidos. Entonces, es totalmente necesario articular un delicado cuerpo de conocimiento integral en el que el análisis y la síntesis, así como la relación entre lo general y lo particular se complementen mutuamente, y el objetivo fundamental será la estructuración de todos los niveles estudiados, proceso que debe ser lógico y complementario tanto desde el punto de vista de los niveles espaciales como temporales.

En geografía ya han sido consideradas estas ideas, no solo en cuanto a los conjuntos espaciales, sino también considerando los vínculos fundamentales espacio-temporales —como se verá en el capítulo N° 6— donde las diferentes estructuras espaciales jerarquizadas o isoescemas están sistematizadas de acuerdo a la magnitud espacial y temporal. Este arduo trabajo ha de llevar a librar el obstáculo de la gran variabilidad y complejidad de expresiones del entorno, pasando de la mera descripción de los fenómenos hacia el logro de la explicación, y de igual manera será posible entonces dar a la geografía un carácter predictivo. En otras palabras, se debe buscar la integración y la correspondencia de las leyes, teorías y conceptos en todos los niveles de organización del espacio geográfico.

Una vez consolidado el conjunto del conocimiento geográfico se debe avanzar hacia la predicción de los fenómenos, superar la limitante que implican los estudios exclusivamente retrospectivos, o bien, del

presente con unos reducidos alcances, la geografía debe mirar hacia el futuro, hacia la práctica prospectiva, hacia los complejos y vastos horizontes del futuro.

En el entendimiento de que el conocimiento —al igual que la realidad— se transforma y evoluciona, se establece que toda teoría debe quedar sujeta a la prueba ineludible de la experiencia, de su confrontación con los hechos mismos; la teoría y la experiencia son dos procesos complementarios y necesarios en toda investigación científica, las posiciones académicas al respecto, han llegado a confrontar ambos procesos de una manera francamente parcial llevando al desarrollo del racionalismo y del empirismo como tendencias científicas excluyentes.

Un ejemplo célebre en la geografía sería la teoría de los lugares centrales de W. Christaller, que resultó muy válida para el estudio de la organización y la jerarquización de las ciudades en el espacio, ejemplar por su virtud lógica, pero con limitaciones debidas al marco de referencia —manejando variables totalmente homogéneas— y a la excesiva abstracción que hacía de la realidad, ya que ésta es muy irregular, tanto en el espacio como en el tiempo, por lo cual había hechos no explicados suficientemente, como las irregularidades del terreno, la toma de decisiones por parte de los agentes económicos, etc.

"El problema de Christaller era explicar la distribución de los núcleos urbanos considerados como centros de servicios que abastecen a una población circuncante. En relación con ello trató de formular una teoría con validez completamente independiente de lo que la realidad aparenta, pero válida solo por virtud de su lógica."⁸³

Con el posterior desarrollo de esta teoría se observó que había que construir modelos más complejos acerca de una realidad cambiante por su misma naturaleza y por la influencia variable de la acción humana. Con el trabajo de Christaller se inicia el desarrollo de investigaciones hipotético-deductivas en geografía, en contraposición con los estudios característicos de la geografía clásica que partían de la recolección de datos observables, datos de la realidad, en base a un método empírico e inductivo.

Todo en la naturaleza cambia con el tiempo, así el conjunto de la

⁸³ CAPEL, Horacio. URTEAGA, Luis. Las nuevas geografías. Salvat. 1982, p. 32.

esfera terrestre se transforma -aunque a ritmos diferentes-, de igual manera el espacio geográfico y la superficie terrestre son mutables.

El estudio de la estructura y la dinámica espacial se complementa con la inclusión de la dimensión temporal, ya que en realidad forman parte de un continuo espacio-temporal de cuatro dimensiones (aunque este continuo debe también incluir a las categorías de movimiento, materia y energía, en este trabajo solamente se ha previsto estudiar el espacio y demostrar sus vínculos con el tiempo).

El tiempo es la dimensión que subyace a las sucesivas transformaciones de la realidad en todos sus niveles, el tiempo es la medida de los cambios que se producen en el espacio, desde esta perspectiva, los fenómenos deben ser considerados como sucesos.

Ahora más que nunca, en el campo de la geografía se admite la importancia fundamental del factor tiempo que junto con las tres dimensiones espaciales integran la entidad donde los fenómenos se pueden extender, donde adquieren existencia objetiva.

Se ha considerado ya la perspectiva histórica en los estudios geográficos, las relaciones estrechas entre geografía e historia son innegables, pero esto ha presentado algunos problemas: "En todo análisis del espacio el geógrafo debe recurrir a la historia e integrar el tiempo y la duración en sus razonamientos. Pero una de las mayores dificultades con las que se tropieza es la existencia de escalas de tiempo distintas, y no solamente para fenómenos cuya naturaleza es diferente (fenómenos geológicos y fenómenos humanos, por ejemplo), sino asimismo para fenómenos pertenecientes a una misma familia."⁸⁴ Para comprender la organización y la evolución de un paisaje global, el geógrafo se encuentra ante unos elementos heterogéneos, instalados en épocas diferentes y que evolucionan de acuerdo con sus propios ritmos que es conveniente situar en una presentación coherente. Ante la cronología el geógrafo tiene una actitud diferente de la del historiador. Bajo el término historiador se incluye igualmente al geólogo estratigráfico, o al paleontólogo, así como al especialista en historia agraria.

Aunque es un modo arbitrario, de acuerdo con Dollfus, es posible

⁸⁴ DOLLFUS, Olivier. El análisis geográfico. oikos tau. 1978, p. 113.

distinguir tres niveles temporales: el tiempo repetitivo, donde sus elementos se suceden regularmente según un ciclo, y cuya unidad puede ser el día o el año; el tiempo histórico, cuyos efectos son acumulativos, p.ej. el que preside la suerte de las generaciones de poblaciones cuya vida rebasa la unidad anual, y se calcula por décadas, siglos, o a veces milenios; el tiempo geológico, que permite medir los cambios de la corteza terrestre, y cuya unidad puede estar entre el milenio, el millón o también la década de millones de años. Así como hay sistemas jerárquicos de escalas espaciales, los hay con respecto al tiempo, en donde a cada escala temporal corresponde un conjunto de fenómenos que son abordados de una manera objetiva.

"El geógrafo se basa en lo que es, en el presente, y únicamente recurre al pasado, por un procedimiento regresivo, con vistas a la comprensión del presente, para comprender la evolución."⁸⁵

Desde el punto de vista de Paul Claval, y esta es una actitud generalizada en la actualidad, el espacio geográfico no es independiente de las actividades humanas, en la llamada "nueva geografía" que él plantea, a diferencia de la geografía clásica que adopta la postura naturalista hace que de toda la realidad espacial se asimile únicamente aquello que es fácil localización, la observación incide en el medio ambiente natural, las formas del relieve, la cobertura vegetal, los obstáculos, los campos, etc., todo lo que constituye el entramado sólido y estable del paisaje. Las aguas y el aire, más cambiantes, no fueron interpretados hasta más tarde, y de un modo más incompleto. Propone entonces Claval que: "El hombre está en el centro de la reflexión. El hombre se desplaza y encadena o recibe unos flujos de bienes y de informaciones. Capta el espacio y lo valora. Y para poder dominarlo, lo organiza. En esencia la gestión básica de esta investigación es muy simple: se trata de ver como los hombres emplean su tiempo y utilizan el espacio, de establecer un cálculo espaciotemporal, a manera de los sociólogos, pero haciendo mucho hincapié en el espacio."⁸⁶

Con respecto a las importantes relaciones entre geografía e historia

⁸⁵ KELLFUS, Olivier. El análisis geográfico. oikos-tau. 1978, p. 114.

⁸⁶ CLAVAL, Paul. La nueva geografía. oikos-tau. 1979, p. 18.

hay que tener en cuenta la opinión de Russell quien expone que: "Todo el conocimiento que poseemos es, o conocimiento de hechos particulares, o conocimiento científico. Los detalles de la historia y geografía quedan apartados de la ciencia, en cierto modo; esto es, son presupuestos por la ciencia y forman la base sobre la que se levanta aquélla."⁸⁷ Este lugar especial que da Russell a la historia y a la geografía, es en ésta última acentuado por el desarrollo de estudios de hechos aislados (no sistematizados), basándose en la consideración de la unicidad e individualidad de las unidades de estudio, llevé por mucho tiempo a entender a la geografía -junto con la historia- como disciplinas excepcionales. Esto es preocupante e incita a la búsqueda de un sistema lógico de conocimiento que indague las leyes que rigen la estructura y la dinámica espaciales. Ya se ha mencionado que, tanto la utilización de un lenguaje lógicamente articulado, así como la sistematización de los diferentes niveles de organización espaciales y temporales ha de llevar a cumplir con este objetivo. "Disponiendo de esta taxonomía, el localismo y la inconexión han de desaparecer del análisis geográfico, ya que cualquier paisaje estudiado pasa a ser un individuo perteneciente a una especie, de cuyos rasgos y problemas participa, por lo tanto, analizarlo es participar en la comprensión de dicha especie y, a través de ella, en el conocimiento del paisaje total."⁸⁸ En el intento de establecer tanto la jerarquización como la correspondencia de los diferentes niveles en que se manifiesta la realidad, es fundamental el concepto de escala ya que: "Como en geografía se trata de unidades espaciales que ocupan una determinada superficie, la magnitud o escala dimensional es un aspecto básico que se ha de tener en cuenta, junto a la estructura interna y los caracteres dinámicos, que son los normalmente tomados en consideración."⁸⁹

Entonces, resulta fundamental el estudio del tiempo en geografía, es consustancial al espacio por el movimiento -por la infinita sucesión de transformaciones-, y solamente en el proceso cognoscente se separan en una gestión analítica básica para el conocimiento científico, en la

⁸⁷ RUSSELL, Bertrand. La perspectiva científica. Ariel. 1969, p. 60.

⁸⁸ GOMEZ, Josefina, et. al. El pensamiento geográfico. Alianza editorial. 1982, p. 124.

⁸⁹ Ibid. p. 124.

realidad no son más que dos expresiones (categorías del mundo físico) del todo concatenado e interrelacionado, que en geografía es aparente a través del paisaje.

Solamente queda mencionar que, en respuesta al desarrollo de las investigaciones del espacio geográfico en base al enfoque analítico y sistémico, se han desarrollado también posturas o perspectivas que se basan en la participación del hombre y la sociedad en la percepción, el conocimiento y la transformación del entorno, con el cual mantienen lazos de interdependencia. A estas perspectivas se les ha denominado fenomenológicas y tienen como objeto de estudio el análisis geográfico de la percepción y del comportamiento espacial, aunque es básico el concepto de vivencia, esto es, de la concepción que cada hombre o cada población tiene del mundo, como lo percibe, como lo conceptualiza.

Por otra parte, las perspectivas radicales, que se fundamentan en la crítica a la formalización geométrica del espacio a la que procedió la perspectiva analítica, y se propone el entendimiento de la existencia de las relaciones mutuas y complejas entre sociedad y espacio, entre procesos sociales, económicos y políticos, y las configuraciones espaciales. Se propone al espacio como producto social, o sea, como uno de los resultados de los procesos de producción históricamente activos en el seno de las estructuras sociales. Por último se plantea la necesidad de reidentificar a la práctica geográfica con los graves problemas del mundo actual, se estimula la conciencia sobre el compromiso social de la geografía.

En fin, el espacio geográfico objeto de la disciplina que aquí se estudia, es un concepto dinámico, tanto porque evoluciona la realidad que identifica, como porque es parte del conocimiento científico siendo este último un proceso, una constante búsqueda de la verdad, a la cual no se puede aspirar como una meta absoluta, no se puede llegar a ella de una vez por todas, ni por una vía única, sino por aproximaciones sucesivas, y en base a métodos consagrados por la práctica cognoscente de la ciencia y la filosofía.

La geografía, su objeto de estudio y sus principios constituyen una unidad, la disciplina en cuestión procede de acuerdo a tales principios -que se estudiarán a continuación-, que la caracterizan y la identifican siendo imprescindibles para ella en el estudio de la estructura y la dinámica del espacio geográfico.

5.2. LOS PRINCIPIOS DE LA GEOGRAFIA.

Una vez que se ha definido a la geografía como: la ciencia que estudia la estructura y la dinámica espacial de los fenómenos que evolucionan básicamente sobre la superficie terrestre. Asimismo se ha definido a su objeto de estudio, el espacio geográfico como: el espacio que se ubica en las zonas de contacto de las grandes capas de la tierra (litosfera, hidrosfera y atmósfera, que incluyen a la biosfera), las cuales se interrelacionan dinámicamente.

Ahora es necesario explicar como es que en base a unos principios que reflejan las propiedades esenciales de dicho espacio, se inicia toda gestión geográfica. Tales principios (localización, distribución e interrelaciones causales) se consideran como las etapas o pasos sucesivos, que son indispensables en la investigación geográfica.

Se considera desde el punto de vista de los modelos matemáticos y físicos del espacio -de acuerdo con Davies-, que existen algunas propiedades comunes a todos ellos, y son: dimensionalidad, continuidad, conectividad y orientabilidad. Estas propiedades de hecho son parte del espacio con el que el hombre está en contacto directo, o sea, del espacio a escala de los fenómenos terrestres, y son familiares a los ya mencionados principios de la geografía -no olvidando que en los inicios de la cultura occidental en Grecia, tanto la geografía como las matemáticas, en particular la geometría, tuvieron un origen común al tratar sobre las principales características espaciales y medidas de la tierra-, las cuales se describirán a continuación.

Aunque no se comparte la idea de Ricardo Chacón, quien asocia el principio de localización con el concepto de extensión, este autor hace un juicio importante sobre el mismo, sosteniendo que: "El principio del cual parte todo trabajo geográfico es el de localización o extensión. Puede afirmarse que este principio constituye el teorema fundamental de la cartografía: todo espacio geográfico de estudio se ubica en la superficie terrestre o en sus cercanías, y para investigarla se le ha dotado de un reticulado de paralelos y meridianos llamados red de coordenadas. Con ésta se puede localizar cualquier punto en función de una intersección de dos líneas perpendiculares entre sí, y trasladarse a un mapa por medio de una proyección cartográfica. La red de coordenadas viene a ser la estructura geométrica, es decir, la

base matemática de que se provee la geografía para aplicar el principio de localización.⁹⁰ Tal vez solo faltaría señalar, para complementar esta explicación, que toda representación geográfica de la realidad tiene como elementos imprescindibles, junto al sistema de coordenadas y al de proyección, una escala y una simbología.

Por otra parte, y debido a que el espacio real (espacio físico) es tridimensional, se debe tomar en cuenta la tercera dimensión (Z), o sea la altitud, que es el complemento para la red de coordenadas (X,Y) integrada por la latitud y la longitud, para la localización completa de un punto (lugar) sobre la superficie terrestre.

Entonces, el espacio geográfico está constituido por fenómenos o sucesos concretos que se distribuyen como puntos localizables sobre una superficie medible. Todo punto del espacio geográfico puede, en efecto, ser definido por su situación relativa con respecto a un sistema de referencias fijas, que se llama sistema de coordenadas terrestre o geográficas.

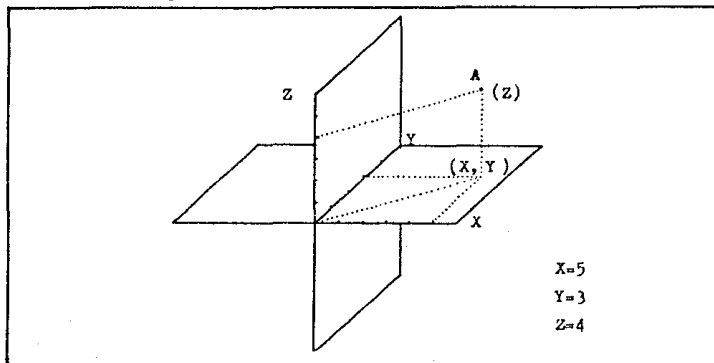


FIGURA N° 17. Localización de un punto (A) con respecto a un sistema tridimensional de coordenadas rectangulares (X,Y,Z).

Como se observa en la figura N° 14, para localizar un punto en el espacio, se debe tomar como referencia un sistema de ejes perpendiculares entre sí, (sistema de coordenadas cartesianas). Con base en

⁹⁰ CHACON, Ricardo. "Aplicación de ciencias exactas en el estudio de la geografía." En: Cuadernos de filosofía y letras. 1985, p.48.

este sistema se desarrollan las coordenadas geográficas, con las que se determina la posición precisa de todos los lugares de la superficie terrestre. En la figura N° 10 (página 46), se puede ver el sistema de coordenadas geográficas en la esfera terrestre (latitud y longitud), por su parte la altitud representa algunos problemas, sobre todo al pasar la información a los planos, entonces se hizo necesario el manejo de isolíneas llamadas curvas de nivel.

Collfus establece que la localización implica determinar tanto el lugar como la posición de un punto: "Localizar quiere decir indicar las coordenadas geodésicas (latitud, longitud y altitud) del elemento estudiado, pero consiste principalmente en definir el lugar y la posición. El estudio de la localización mediante el análisis del lugar y la posición lleva al reconocimiento de los sistemas que organizan el espacio. El lugar es el asiento territorial de un elemento del espacio. La posición depende del sistema de relaciones que mantiene el elemento con otros elementos, ya estén estos próximos o alejados. Dialécticamente, lugar y posición están vinculados, pero se trata de dos nociones al propio tiempo distintas y complementarias."⁹¹

Entonces, bajo esta perspectiva, para estudiar cualquier fenómeno o suceso de la superficie terrestre, es necesario, primero establecer su situación -por decirlo de un modo diferente-, con respecto a un sistema de referencia fijo, con lo que se individualiza e identifica tal suceso (punto o lugar), para después hacerlo con respecto a un conjunto de relaciones que se establecen con otros sucesos, esto lleva a una visión contextual en la que cada uno de ellos tiene individualidad (localización absoluta), y a la vez generalidad (localización relativa).

Lugar y posición no dependen de una escala de magnitud determinada, por ejemplo, una finca, una parcela, una ciudad, una nación, tienen un lugar y una posición. Pero para comprender la posición de un elemento del espacio generalmente es necesario recurrir a un mapa a escala más pequeña, que para la descripción de su lugar. El lugar de una pequeña ciudad puede estudiarse en un mapa a escala 1/20,000 ó 1/50,000, pero para comprender su posición puede utilizarse eventualmente un mapa a escala 1/200,000. Todo esto debido a que dependiendo de la distancia

⁹¹ COLLFUS, Olivier. El análisis geográfico. oikos-tau. 1978, pp.18-19.

a la que se vean los fenómenos, uno u otros rangos serán inteligibles. Asimismo, según el punto de vista o posición del observador, serán significativos o no determinados elementos o rangos del fenómeno a estudiar, pero esto se verá con mayor detalle en el siguiente capítulo.

Actualmente han tenido un gran desarrollo los estudios de localización mediante los que se analizan los factores que inciden sobre la localización de los fenómenos, así como las causas que determinan su emplazamiento, con miras al establecimiento óptimo de supermercados, factorías, centros vacacionales, edificios, puertos, etc.

Así entonces, la rama geográfica comienza por estudiar la localización de los elementos del espacio, el geógrafo estudia los modos de organización del espacio terrestre así como la distribución de las formas y de las poblaciones (en el sentido de conjunto de individuos o puntos si se quiere). Su gestión procede de una dialéctica entre la descripción y la explicación, el análisis y la síntesis, la inducción y la deducción, cuestionándose permanentemente sobre "dónde", "cómo", y "por qué", y muy recientemente se ha hecho énfasis (Harvey, Haguerstrand y otros) en el "cuándo", de los sucesos espaciales. Se inicia por localizar, se describen y definen los elementos significativos, lo que lleva a analizar su disposición, su repetición, su similitud, y su singularidad en la fase explicativa.

En síntesis las etapas deben ser: definición, descripción, explicación, como antecedentes para la predicción.

Seguidamente a la localización se estudia la distribución, o sea, la manera como se reparten o distribuyen los elementos del espacio, este principio siempre aparece asociado a la extensión, a diferencia de lo que sostiene Chacón, porque sencillamente localizar es decir donde están las cosas en base a un sistema de referencia. estudiar la distribución consiste en determinar la forma (configuración) en que se reparten o se disponen tales cosas en el espacio, ahora bien, la extensión es la cantidad (magnitud) del espacio que ocupan las cosas en las dimensiones espaciales.

Mientras que la distribución se refiere a la disposición (difusión de elementos o fenómenos en movimiento), o sea, la manera como se reparten o distribuyen en el espacio, así puede hablarse de distribución regular e irregular, ordenada, amorfa, etc. Son conceptos que

se asocian a la distribución: concentración, dispersión, densidad, etc.

Por otra parte, la extensión se refiere a una cantidad (magnitud), que cada elemento del conjunto o sistema tiene u ocupa para cada una de las dimensiones espaciales (largo, ancho, profundidad). Son conceptos asociados a la extensión: distancia, área y volumen.

Ahora bien, para estudiar la extensión y la distribución de un fenómeno es importante a la vez referirlo a una escala determinada, y establecer los límites del conjunto o sistema.

"La geografía intenta comprender cómo nacen las complejas distribuciones de cosas, de seres vivos y de hombres en la superficie de la tierra. Para analizarlas, primeramente hace falta saber describirlas, captar las configuraciones que adoptan, poner en evidencia los lazos y las relaciones de que están equipadas."⁹²

Con respecto al análisis de las poblaciones Dollfus señala que: "En el análisis del espacio habitado, el geógrafo sitúa en primer plano los fenómenos de localización y de distribución de la población y se dedica a descifrar su contenido y su significado. Podemos presentar algunas observaciones elementales: un mismo medio ofrece mayúsculas desigualdades en su poblamiento, y la densidad bruta es un dato que debemos situar en función de la escala considerada. Unas densidades brutas cuantitativamente parecidas tienen un contenido geográfico completamente distinto."⁹³

Con respecto a la causalidad, ha sido considerada como fundamento no solo de la geografía, sino de toda la ciencia, pero a veces ha sido llevada al extremo de querer fundamentar en base a ella ideas tales como el determinismo. "La causalidad constituye la expresión particularizada de la conexión y la acción recíproca existentes entre todos y cada uno de los procesos del universo. En rigor, cada proceso se encuentra conectado con los demás de una manera múltiple y polimorfa; ya sea de un modo directo, por continuidad, o indirectamente, a través de otros procesos concatenados."⁹⁴ Indudablemente la causalidad es una categoría fundamental que ayuda a asegurar la objetividad en los resultados de la investigación científica. Pero, en la geo-

⁹² CLAVAI, Paul. La nueva geografía. oikos-tau. 1979, p. 15.

⁹³ COLLEUS, Olivier. El espacio geográfico. oikos-tau. 1970, p. 57.

⁹⁴ GORTARI, Eli de. Dialéctica de la física. Océano. 1986, p. 163.

grafía las relaciones de causalidad deben manejarse con mucho cuidado: "La causalidad tiene que ser interpretada con la máxima prudencia. No existe un determinismo convergente entre unas condiciones físicas que podrían ser consideradas como determinantes, y unos elementos humanos que entonces podrían ser considerados como determinados y dirigidos obligatoriamente por el entorno natural."⁹⁵

Es importante señalar que en base a la investigación de las relaciones de causalidad entre el hombre y la naturaleza, hubo una amplia discusión en torno al problema del determinismo geográfico, cuando se tendió a subestimar unilateralmente y de una manera oscura a menudo, la influencia del medio sobre el hombre. Como ya se vio, en respuesta surgió la corriente posibilista, que hacía énfasis en la capacidad del hombre por adaptarse, conocer y transformar el medio, el cual debía ofrecerle unas mayores o menores posibilidades para su desarrollo.

Al estudiar un espacio, el geógrafo debe a la vez integrar el conjunto y descomponerlo en sus partes, debe buscar correlaciones en los distintos niveles, medir las interacciones, de ahí la necesidad del estudio de las interrelaciones causales. Siempre es necesario considerar que las relaciones que mantienen entre sí los fenómenos no son tan simples como se perciben directamente, a lo aparente subyacen complejas interconexiones de diferentes órdenes. El problema debe ser abordado mediante un análisis multifactorial basado en la utilización de un lenguaje lógico y preciso, donde se han de ponderar contextualmente cada uno de los factores, ya que cada uno de ellos tiene un nivel de influencia específico, es decir, un valor relativo, cambiante espacial y temporalmente. Los factores pueden ser físicos y sociales, y pueden cambiar sobre todo por tendencias evolutivas (progresivas y regresivas).

Desde el punto de vista de las tendencias radicales se insiste en la aplicación del método dialéctico para el estudio dinámico y evolutivo de los fenómenos geográficos en base a la interrelación dialéctica: "En el campo específico del conocimiento geográfico, el discurso marxista supone en todos los casos aceptar la existencia

⁹⁵ ALLFUS, Clivier. El análisis geográfico. oikos-tau. 1978, p. 50.

de relaciones mutuas y complejas entre sociedad y espacio, entre procesos sociales y configuraciones espaciales. Se pretende así salvaguardar en el plano teórico tanto el principio de interrelación dialéctica, en el más puro espíritu marxista, como la identidad geográfica, sin restar en nada protagonismo a los medios de producción como factor explicativo.⁹⁶ Desde este punto de vista el espacio es considerado como un producto social, y más que un producto, como una instancia, al igual que la instancia económica, y la instancia cultural-ideológica, forman parte del proceso histórico-económico. Esto significa que, en tanto que instancia, el espacio contiene y está contenido por las demás instancias, del mismo modo que cada una de ellas lo contiene y es por ellas contenida. De acuerdo con Milton Santos, la economía está en el espacio, así como el espacio está en la economía. "La cuestión no es, pues, examinar causalidades, sino contextos. La causalidad ponaría en juego las relaciones entre elementos, aunque esas relaciones fuesen multilaterales. El contexto implica el movimiento del todo."⁹⁷ Así el valor de cada variable no está en función de sí misma, sino de su papel dentro del conjunto. En otras palabras, si se estudia al mismo tiempo diversas relaciones bilaterales, como, por ejemplo, entre hombre y naturaleza, o entre empresas y hombres (capital y trabajo), o entre compañías y Estado (poder económico y poder político), o entre el Estado y los ciudadanos, se hace un análisis multivariable y considerando, al mismo tiempo, que cada variable tiene un valor por sí misma; eso, sin embargo, de hecho no ocurre. Solamente a través del movimiento del conjunto (del todo), se puede valorar correctamente cada parte y analizarla, para en seguida, reconocer concretamente ese todo. Esa tarea supone un esfuerzo de clasificación.

"Cuando analizamos un espacio dado, si pensamos sólo en sus elementos, en la naturaleza de esos elementos o en sus posibles clases, no sobrepasamos el dominio de la abstracción. Solamente la relación que existe entre las cosas es lo que nos permite realmente conocerlas y definir las.

⁹⁶ GOMEZ, Josefina, et. al. El pensamiento geográfico. Alianza editorial. 1982, pp. 149-151.

⁹⁷ SANTOS, Milton. "Espacio y método". en: Geocrítica. Universidad de Barcelona. 1986, p. 14.

Los hechos aislados son abstracciones y lo que los da concreción es la relación que mantienen entre sí.⁹⁸ Pero las relaciones entre los elementos del espacio no son solamente bilaterales, una a una, sino relaciones generalizadas. Por eso, y también por el hecho de que esas relaciones no se producen entre las cosas en sí o por sí mismas, sino entre sus cualidades o atributos, es por lo que puede decirse que forman un verdadero sistema.

En este orden de ideas, el principio de interrelación causal supone que: "De este modo la noción de causa-efecto, que permite una simplificación de las relaciones entre elementos, es insuficiente para comprender y valorar el movimiento real. Así, puede decirse que cada variable dispone de dos modalidades de 'valor': una que nace de sus características propias, técnicas o técnico-funcionales; y otro que viene dado por las características sistémicas, esto es, por el hecho de que cada elemento o variable puede ser abordado desde un punto de vista sistémico."⁹⁹

Desde este punto de vista debe procederse mediante una dialéctica análisis-síntesis, para el reconocimiento de las interrelaciones y las interacciones de los diversos componentes o elementos de los sistemas que rigen la dinámica (y la evolución) espacial.

Recuerdando, los principios geográficos: localización, distribución, así como las interrelaciones causales deben ser entendidos como una unidad, cada uno de ellos con una identidad y un valor propios, y como parte del todo lógico articulado que debe ser el conocimiento geográfico, teniendo como objeto de estudio el espacio (geográfico), y siendo cada principio, una etapa en la sucesión de la gestión espacial de la geografía.

⁹⁸ SANTOS, Milton. "Espacio y método". en: Geocrítica. Universidad de Barcelona. 1980, p. 17.

⁹⁹ Ibid. p. 19.

CAPITULO 6

LA RELACION DE LA TEORIA DE LA RELATIVIDAD CON LA GEOGRAFIA.

En este último capítulo se tiene por objeto establecer los puntos de contacto, así como las limitantes para la posible aplicación de la teoría de la relatividad en la geografía.

Ya que la teoría de la relatividad ha causado una transformación radical -junto con la mecánica cuántica- en la concepción del universo, es de esperarse que con el tiempo su influencia trascienda del campo de las ciencias exactas (física, matemáticas, astronomía, etc.) hacia otras áreas del conocimiento, por su misma riqueza conceptual y por la amplitud de sus consecuencias.

La física moderna se encuentra dividida en tres grandes niveles de acuerdo a la escala (macrocosmos, mesocosmos y microcosmos), siendo importante en este breve ensayo, el nivel intermedio de la existencia de los fenómenos físicos, o sea el mesocosmos, donde la física clásica ha sido complementada por la cuántica y la relativista.

Entonces, el nivel mesocosmos que comprende todos los procesos de dimensiones similares a las humanas, o sea, a escala terrestre -desde el punto de vista de esta división amplia-, es donde pueden coincidir tanto la teoría de la relatividad como el objeto de estudio de la geografía, la cual ha sido definida aquí como: la ciencia que estudia la estructura y la dinámica espacial de los fenómenos (físicos, biológicos y sociales) que evolucionan básicamente sobre la superficie terrestre.

Por su parte, la teoría de la relatividad, que surgió en el campo de la física como un intento por superar las contradicciones acumuladas durante el desarrollo de esta ciencia en su etapa llamada clásica, dió lugar a una revolución en el pensamiento y el conocimiento del cosmos, puede definirse de la siguiente manera: "La teoría de la relatividad es la doctrina contemporánea del espacio y el tiempo, de las leyes de

los movimientos de la materia y que se realizan a velocidades próximas a la velocidad de la luz, y también de la gravedad."¹⁰⁰

Entonces, desde este enfoque, la teoría de la relatividad se aplica sólo a procesos espacio-temporales a escala astronómica o sideral, pero no hay que olvidar que esta teoría consta de dos expresiones que son: la relatividad especial y la relatividad general. No es que los principios relativistas no sean aplicables a escala terrestre, sino debido a que los fenómenos considerados en gran escala se caracterizan por grandes volúmenes, velocidades y duraciones, comparados con los fenómenos terrestres, para el hombre es difícil percibir y comprender las diferencias que hay entre unos observadores y otros dependiendo de sus estados de movimiento; por ejemplo los efectos de dilatación del tiempo y de contracción del espacio a velocidades cercanas a la de la luz, resultan evidentes en gran escala, pero a nivel de los fenómenos de la tierra tales efectos son imperceptibles, lo cual no significa que no existan. De igual manera, los seres humanos habitamos (existimos) en un espacio tridimensional, y es difícil imaginar un espacio-tiempo tetradimensional, pero, en contrapartida, es sencillo pensar y trabajar sobre espacios de una o de dos dimensiones.

Por otra parte, la teoría de la relatividad fue desarrollada en base a fenómenos observables sobre la superficie terrestre, y se ha comprobado rigurosamente que en efecto, el espacio, el tiempo, la simultaneidad, etc., son relativos. Carlos Sáenz ha abordado el tema teniendo como objetivo central demostrar la importancia de los sucesos geográficos en el desarrollo de la teoría de la relatividad, y después de citar algunos ejemplos afirma que: "Queda patente que la relatividad tiene una innegable expresión geográfica, pues sus ideas básicas se fundamentan sobre problemas de relaciones espaciales en superficie."¹⁰¹

De acuerdo con el doctor Sáenz, la relatividad "es de interés primordial para el geógrafo contemporáneo y no debemos permitir que su enseñanza sea marginada en los estudios superiores de geografía."¹⁰²

¹⁰⁰ MELIJJIN, S. et. al. Problemas filosóficos de la física contemporánea. Grijalbo. 1966, p. 135.

¹⁰¹ SAENZ, Carlos. "La relatividad, un problema geográfico" En: Anuario de Geografía. UNAM. 1980, p. 216.

¹⁰² Ibid. p. 217.

Ya se han explicado las nociones fundamentales de la teoría de la relatividad en el capítulo 3, y se pueden resumir de la siguiente forma: Si K' es, con respecto a K , un sistema de coordenadas que ejecuta un movimiento uniforme sin rotación (translación uniforme y rectilínea), entonces los procesos de la naturaleza se desarrollan, con respecto a K' , conforme a las mismas leyes generales que con respecto a K . Este es el principio de la relatividad especial.

Esto quiere decir que, cualquier objeto que se desplace con un movimiento uniforme y rectilíneo, ya sea con respecto a un sistema de referencia K , o con respecto a otro sistema de referencia K' , aun a pesar de que la velocidad y la dirección del objeto sea diferente para ambos sistemas de referencia, los tipos de movimiento han de ser equivalentes, o sea que, se está hablando de una misma ley aplicable a todos los sistemas de referencia galileanos, independientemente de que cualquiera de ellos sea tomado como punto de partida para determinar el movimiento de los demás.

Para la simple determinación o explicación del movimiento es indiferente, en principio, a que cuerpo de referencia se relaciona tal desplazamiento. Pero lo que es más importante, según el principio de la relatividad especial, es que si se formulan las leyes generales de la naturaleza, estas tienen exactamente la misma forma, son equivalentes y se reducen a distintas relaciones con respecto al equivalente general que es la velocidad de la luz.

Los cuerpos de referencia utilizados en la relatividad restringida realizan un tipo de movimiento específico, entonces los movimientos que no cumplen con tal condición (sistema inercial de referencia), no son cubiertos por esta teoría, es allí sus limitaciones. Por otra parte, la teoría de la relatividad general, es válida para cualquier tipo de movimientos que realicen los cuerpos de referencia.

Mientras que las coordenadas utilizadas en la relatividad especial son sistemas galileanos (basados en las coordenadas rectangulares cartesianas), el sistema de coordenadas de la relatividad general se basa en la geometría no euclidiana, es decir en los espacios curvos, la relatividad general surge como una extensión de la relatividad especial, e incluye las deformaciones producidas por los efectos de la gravitación, al tiempo que es posible establecer la equivalencia de

todos los sistemas de referencia. Entonces, la teoría general de la relatividad se puede enunciar de la siguiente manera: Todos los cuerpos de referencia, cualquiera que sea su estado de movimiento se consideran equivalentes para la formulación de las leyes generales de la naturaleza.

Debido a que está demostrado que la luz se propaga por el espacio sideral describiendo trayectorias curvas, por efecto de los campos gravitatorios de los astros, la ley de la constancia de la velocidad de la luz en el vacío, que es uno de los supuestos fundamentales de la teoría de la relatividad especial, no puede tener una validez sin límite porque la curvatura de los rayos luminosos sólo se puede producir si la velocidad de propagación de la luz varía con el lugar.

Ahora se sabe que la relatividad especial constituye solamente una etapa antecedente para el posterior desarrollo de la relatividad general. Ambas teorías no están en contradicción, sino que la relatividad especial no puede tener una validez ilimitada, sus resultados sólo son válidos en tanto que son insignificantes las influencias de los campos gravitatorios sobre los procesos de la naturaleza, este es, a escala terrestre.

Se desprenden entonces, como consecuencias generales de la teoría de la relatividad en su conjunto las siguientes ideas:

- a) Las categorías universales de: espacio, tiempo, materia, energía y movimiento son relativas.
- b) La determinación de la posición y la cantidad de movimiento de un cuerpo no se puede referir a un sistema de coordenadas en condiciones de reposo absoluto.
- c) El sistema de referencia para el estudio de los procesos de la naturaleza es un continuo espacio-tiempo tetradimensional.
- d) La base geométrica de la relatividad especial, al igual que la física clásica se puede conducir de la geometría euclidiana (plana), y la de la relatividad general se basa en la geometría no euclidiana, en estas teorías la menor distancia entre dos puntos está dada por una recta y una geodésica respectivamente.
- e) En gran escala (macrocosmos), el espacio se curva por efecto de los campos gravitatorios de los cuerpos masivos en torno suyo.
- f) A velocidades cercanas a la de la luz, el espacio se contrae y el tiempo se dilata. De igual manera, la materia se transforma en energía.

g) Los movimientos de los cuerpos materiales son equivalentes respecto a la velocidad de la luz y en base a la transformación de coordenadas de Lorentz.

De las consecuencias generales de la teoría de la relatividad, se pueden derivar las siguientes ideas con relación a la geografía:

- a) Las categorías universales, que subyacen a todo fenómeno o proceso de la naturaleza son relativas, ninguna de ellas se encuentra aislada de las demás, ninguna es absoluta, son circunstanciales, y esto sucede en cualquier escala. En virtud de su universalidad, tales categorías (espacio, tiempo, materia, energía y movimiento) pueden aplicarse a la geografía -y de hecho a toda la ciencia- para la sistematización de los fenómenos y las investigaciones.
- b) La determinación de la posición y la cantitad de movimiento es aplicable a cualquier objeto material, pero no es posible referirla a un sistema en reposo absoluto, para el estudio del puro movimiento es indiferente la utilización de cualquier sistema de referencia (K, K' ..), toda vez que se utiliza la velocidad de la luz como equivalente general "vara de medir". En geografía, por el contrario, los fenómenos al ser estudiados dentro de un sistema de proyección, a una escala determinada, en base a un sistema de coordenadas, desde un punto físico de vista específico, etc., van a tener un significado diferente, aquí la diferencia radica en que el nivel de abstracción y generalidad de la teoría de la relatividad es muy elevado, sólo refiriéndose a los fenómenos puramente físicos (como el movimiento), incluso la relatividad del punto físico de vista se estudia con la finalidad de aislar (abstraer) a las leyes naturales como tales, sin tomar en cuenta ningún otro tipo de relatividad que no sea al de tales leyes. Entonces, en geografía será fundamental tomar en cuenta el sentido (de la posición y la cantitad de movimiento), la velocidad, las irregularidades del terreno (topografía), la orientación con respecto a un sistema de coordenadas, así como la variabilidad producto de la acción humana, etc.
- c) En virtud de que está rigurosamente demostrado que tanto el espacio como el tiempo están unidos por el movimiento, y que no existen en el universo cuerpos en reposo absoluto, es posible utilizar a escala de los fenómenos terrestres (en particular a escala del espacio geográfico) un sistema de referencia espacio-temporal, para el estudio de la estructura y la dinámica de la realidad.

d) De la crítica desarrollada por Einstein a la geometría clásica o euclidiana resulta que la nueva visión del mundo no se basa en esta exclusivamente, sino también en la geometría esférica, e inclusive en los fenómenos atómicos y cósmicos se habla de espacios pluridimensionales. A escala terrestre, donde los efectos gravitatorios son mínimos, es posible la utilización de la geometría euclidiana, pero en gran escala el espacio se deforma y debe ser estudiado por medio de la geometría no euclidiana. A nivel terrestre, la relatividad general se reduce a la relatividad especial y a la física newtoniana.

e) El efecto gravitatorio producido por los cuerpos masivos (astro) solamente es perceptible y afecta a la trayectoria de los objetos (como una señal luminosa) a escala astronómica, no es que los cambios mencionados no existan a escala terrestre, sino que no son perceptibles por el hombre común, de la misma manera como en la antigüedad se consideraba plana a la tierra, ya que no era posible estudiarla en su contexto, o bien, desde fuera, e incluso en la misma superficie no se conocían grandes extensiones más allá de los límites del ecúmeno. En este sentido, de acuerdo con la publicación del CONACYT dedicada al estado actual de las ciencias de la tierra en función de las teorías modernas, titulada como: "El redescubrimiento de la tierra", históricamente el hombre ha asistido a una sucesión de redescubrimientos del planeta.

Entonces, la teoría de la relatividad implica un redescubrimiento de las leyes físicas, pero como una ampliación de la física clásica, aplicable a la cinética de los procesos cuando se realizan rápidamente con respecto a la velocidad de la luz. De acuerdo a esto, la teoría de la relatividad general no es aplicable a la geografía, y solamente la versión especial lo es; ya que se pueden utilizar sistemas coordenados euclidianos (en pequeñas áreas terrestres) y sistemas coordenados no euclidianos (a escala planetaria).

f) Los efectos de dilatación del tiempo y de contracción del espacio sólo son significativos al nivel de las velocidades cercanas a la de la luz, que se producen en los procesos atómicos y cósmicos. Por lo que estas transformaciones no se aplican en el campo de la geografía.

g) La transformación de coordenadas de Lorentz no puede aplicarse a la geografía ya que tiene como constante universal a la velocidad de

la luz, y sólo se refiere a movimientos puramente físicos haciendo abstracción de cualquier factor subjetivo. Aunque -como se verá más adelante- la transformación de coordenadas es fundamental para la representación geográfica de los fenómenos.

Con referencia a las posibles relaciones de la geografía con la teoría de la relatividad, es importante señalar que notables teóricos han aportado ideas de gran valor, de acuerdo con los objetivos de este trabajo. En cuanto a las consecuencias filosóficas de la teoría de la relatividad, Bertrand Russell sostiene que la subjetividad que se aplica a esta teoría es una subjetividad física, que existiría igualmente en caso de que no hubiera en el mundo cosas como los sentidos o la inteligencia. La teoría de la relatividad no afirma que todo es relativo, como mucha gente piensa. Por el contrario, da una técnica para distinguir lo que es relativo de lo que pertenece al hecho físico.

Russell ha insistido en el hecho de que los grandes principios de la física tradicional se reducen ahora en algunos casos a simples convencionalismos, principios como "la uniformidad de la naturaleza", "la ley de la causalidad universal", "la exactitud absoluta", etc., han dejado de tener un lugar preeminente. De esto se deriva que la física dice mucho menos sobre el mundo físico de lo que se pensaba en su etapa clásica. Esta situación ha sido motivada en gran medida por la influencia del principio de incertidumbre de Werner Heisenberg, desarrollado en el campo de las partículas elementales, negando la posibilidad de la determinación exacta de la posición y la cantidad de movimiento de tales partículas; Asimismo, por el hecho de que a medida que el hombre estudia fenómenos más alejados de la experiencia cotidiana profundizando el conocimiento, se hace uso de teorías y modelos cada vez más abstractos, sostenidos en base al manejo de la probabilidad y la estadística más que en la absoluta certeza de antaño.

Por otra parte, Russell sostiene que: "Podemos distinguir tres secciones en la física. Hay una primera, incluida dentro de la teoría de la relatividad y divulgada lo más ampliamente posible. En segundo lugar, hay leyes que no pueden encuadrarse dentro de los fines de la relatividad. En tercer lugar, está lo que podemos llamar geografía."¹⁰³

¹⁰³ RUSSELL, Bertrand. ABC de la relatividad. Ariel. 1970, pp. 151-152.

Es importante el juicio que Russell emite respecto a la geografía considerándola como una parte fundamental dentro de la física, pero al mismo tiempo se debe tener cuidado ya que esto implicaría que la geografía perdiese su calidad como disciplina independiente, su misma identidad. El mismo autor deriva de la física clásica la posición asignada a la geografía: "Hablando de manera general, la física tradicional se ha desgranado en dos partes: perogrulladas y geografía."¹⁰⁴ Se entiende por perogrulladas a las verdades muy evidentes en relación con lo obvio de los principios de la física practicada en el pasado, que se han reducido a meros convencionalismos.

En este orden de ideas, se define a la geografía dentro del contexto de la física afirmando que: "Llegamos finalmente a la geografía, en la que incluimos a la historia. La separación de la geografía de la historia se apoya en la separación del tiempo del espacio; cuando unimos los dos en espacio-tiempo, necesitamos una palabra para describir la combinación de geografía e historia. Por mor de la simplicidad, usaré únicamente la palabra geografía en este sentido amplio."¹⁰⁵ "La geografía, en este sentido, incluye todo lo que, como materia sin acabar, distingue una parte del espacio-tiempo de otra. Una parte está ocupada por el sol, otra por la tierra. Las regiones intermedias contienen ondas luminosas, pero no materia (a excepción de una poca aquí y allá). Se da un cierto grado de conexión teórica entre los diferentes hechos geográficos. Establecerlo es la finalidad de las leyes físicas. Todavía estamos en disposición de calcular los hechos importantes sobre el sistema solar hacia atrás y hacia adelante durante vastos períodos de tiempo. Pero en semejantes cálculos necesitamos una base de hechos elementales. Los hechos están entrelazados y solo se pueden deducir de otros hechos, no solamente de leyes generales. Así los hechos de la geografía tienen cierto status independiente en física. Ningún número de leyes físicas nos permitirá inferir un hecho físico a menos que conozcamos otros hechos como datos de nuestra inferencia. Y cuando hablo aquí de 'hechos' estoy pensando en hechos concretos de geografía, en el sentido amplio en que vengo empleando el término."¹⁰⁶

¹⁰⁴ RUSSELL, Bertrand. ABC de la relatividad. Ariel. 1970, p.179.

¹⁰⁵ Ibid. p. 155.

¹⁰⁶ Ibid. pp. 155-156.

Entonces, el citado autor, acepta el papel fundamental de la geografía en la formulación y desarrollo de las leyes físicas, porque a la vez que estudia las relaciones espaciales de los hechos (o más bien, de los sucesos en su evolución espacio-temporal), aporta la base de datos (hechos) elementales, cuyas leyes de existencia material (intrínsecas) estudia la física.

Por último, Russell hace la diferenciación, que resulta fundamental para el entendimiento de las relaciones entre relatividad y geografía: "En la teoría de la relatividad, nos interesa la estructura, no el material de que está compuesta la estructura. En geografía, por el contrario, el material es importante. Si hay diferencia entre un lugar y otro, ha de haber diferencias también entre el material de un lugar y de otro, o lugares en que hay material y lugares en que no lo hay."¹⁰⁷

De acuerdo a estas ideas, se confirma que la teoría de la relatividad -y la física misma- tiene un nivel de generalidad y de abstracción superior en cuanto al estudio de los procesos de la naturaleza, que no incluye elementos de subjetividad en términos generales. En cambio, la geografía estudia las manifestaciones espaciales (localización, distribución e interrelaciones causales) de tales procesos. La física y la geografía estudian a la realidad material con dos enfoques y métodos diferentes, pero es la misma realidad, entonces los principios de la teoría de la relatividad -aunque con algunas limitantes- son factibles de aplicarse en la geografía.

En el campo específico de la geografía, actualmente hay una gran preocupación por hacer una revisión de la disciplina ante los efectos de la revolución relativista, que ha hecho críticas a la geometría clásica en el sentido de que sólo es aplicable a los fenómenos de la superficie terrestre y donde las áreas no son muy grandes.

Tanto William Bunge como David Harvey han hecho críticas desde el punto de vista analítico a la llamada geografía clásica. "Ambos discuten, en términos parecidos a los propuestos por Schaefer, la supuesta unicidad o singularidad de los objetos cognoscitivos geográficos que, siguiendo la perspectiva kantiana y hegeliana, aparece asumida en las formulaciones de Richard Hartshorne. Además, la detentada crítica

¹⁰⁷ RUSSELL, Bertrand. ABC de la relatividad. Ariel. 1970, p. 156.

que la tesis kantiana planteada por Harvey se ocupa también de revisar el entendimiento en términos absolutos del espacio que, implícitamente incluido en esa tesis, se encuentra decididamente presente en las articulaciones del pensamiento geográfico clásico.¹⁰⁸ Durante el desarrollo de la geografía clásica tuvo una amplia aceptación la idea de que tanto la geografía como la historia poseen un lugar excepcional con respecto al resto de las ciencias, de igual forma cada lugar de la tierra, cada región es única e irrepetible. "La geografía al igual que la historia, es, por su carácter, tan totalizadora, que el geógrafo completo ideal, al igual que el historiador completo ideal, deberían tener que saber todo acerca de cada ciencia que tenga que ver con el mundo, tanto de la naturaleza como del hombre."¹⁰⁹

La noción del espacio absoluto -originalmente propuesta por Kant en geografía, supone la aceptación de que las características geométricas y espaciales son independientes de la naturaleza de los objetos, ya que siendo absoluto el espacio, se consideraba también independiente de los procesos materiales a los cuales contenía como un recipiente vacío, donde las cosas ocupaban un lugar. Del hecho de aceptar que el espacio es absoluto se deriva que las localizaciones son únicas. Se entendía a la geografía como el estudio de unidades únicas y singulares.

Harvey ha analizado detenidamente las importantes relaciones de la geografía con la geometría y hace ver que: "En su mayoría, los geógrafos aceptan que un determinado lenguaje espacial es el apropiado, sin examinar la razón de esta elección. Como en casi todas las demás disciplinas, la geometría euclidiana dominó en la geografía hasta tal punto, que durante muchos siglos, nunca se cuestionó que éste fuese el único lenguaje espacial apropiado para discutir los problemas geográficos."¹¹⁰ Sabiendo de antemano que diferentes lenguajes espaciales podrán utilizarse con la máxima eficacia para diferentes propósitos, el geógrafo tendrá que saber traducir un lenguaje espacial por otro.

¹⁰⁸ GÓMEZ, Josefina, et. al. El pensamiento geográfico. Alianza editorial. 1982, pp. 106-107.

¹⁰⁹ HARTSHORNE, Richard. "La naturaleza de la geografía". En: Gómez, Josefina. El pensamiento geográfico. Alianza editorial. 1982, p. 357.

¹¹⁰ HARVEY, David. Teoría, leyes y modelos en geografía. Alianza editorial. 1983, p. 204.

Los partidarios de la tesis kantiana —de que el espacio y el tiempo son categorías absolutas, como sucede también con la geografía y la historia— han tendido a suponer a priori un conjunto de entidades regionales que existen y, por ello, constituyen individualidades geográficas. Muchas de las investigaciones de la geografía tradicional sobre divisiones regionales pueden ser consideradas como un intento de identificación de las individualidades geográficas. En otros casos, se ha supuesto que el espacio posee una estructura atomizada que puede en cierta manera ser totalizada en regiones distintas. "Sin embargo, partiendo de un entendimiento relativo del espacio, la idea de la unicidad de las localizaciones tiene que ser profundamente modificada. Dentro de cualquier sistema de coordenadas, las localizaciones pueden ser determinadas singularmente, pero el entendimiento relativo del espacio postula un número infinito de posibles sistemas de coordenadas. Así, la distancia entre dos puntos en el espacio variará de acuerdo con el sistema de coordenadas seleccionado. Aquí el concepto de transformación se vuelve extremadamente importante, y la relación entre geografía y geometría adquiere peculiar importancia. Existen, sin embargo, transformaciones que no son únicas, y es, por tanto, técnicamente posible transformar un mapa en otro de forma que las localizaciones proyectadas no sean únicas. Dado un entendimiento relativo del espacio, el problema es identificar el sistema de coordenadas más apropiado para un fin geográfico determinado."¹¹¹

En efecto, la transformación de coordenadas es fundamental para poder intentar en el futuro una posible equivalencia entre todos los sistemas de referencia, de acuerdo con la teoría de la relatividad, pero, aquí existe una diferencia fundamental entre lo que se propone en esta misma teoría y lo que se puede hacer en geografía, ya que la teoría de la relatividad hace abstracción totalmente de cualquier subjetividad para proceder a estudiar las leyes naturales como tales, y también es indiferente el sistema de referencia elegido para calcular el puro movimiento de los cuerpos, teniendo que ser reducidos a la equivalencia con respecto a la velocidad de la luz.

¹¹¹HARVEY, David. "La explicación en geografía. Algunos problemas generales". En: Gómez, Josefina. El pensamiento geográfico. Alianza editorial. 1982, p.426.

Por otra parte, en geografía la actividad humana es fundamental para todo estudio, sobre todo en la actualidad porque las relaciones entre hombre y entorno ocupan un lugar central, esto ha motivado el desarrollo de una importante perspectiva teórica como es el estudio del comportamiento espacial y de la percepción, que incluye un punto de vista fenomenológico, donde la misma percepción y la vivencia del espacio son ineludibles, y se sostiene que el conocimiento se efectúa a través de la relación sujeto-objeto, criticando la postura de que la realidad es transparente al conocimiento y puede ser estudiada tal y como es. Asimismo, en geografía el punto de vista del observador es esencial, ya que, según la distancia y el ángulo bajo los que se estudian los fenómenos, o bien respecto al sistema de coordenadas, escala, proyección, etc., en que se representen tales fenómenos, unos u otros rasgos se harán inteligibles, de acuerdo al punto de observación se captan diferentes aspectos de la realidad, no obstante que en su conjunto son una unidad.

Desde este enfoque, en geografía además de la relatividad puramente física (referente a las leyes naturales únicamente), el punto de vista (físico, en función de la perspectiva) del observador, así como la relatividad fisiológica y psicológica son fundamentales, pero siempre hay que hacer referencia y explicar desde cual de estos enfoques se han de estudiar los fenómenos. Estos tipos de relatividad pueden ser la base para la sistematización de los estudios geográficos.

También se han planteado críticas por parte de la llamada geografía radical hacia la geografía analítica, en el sentido de que se ha llegado a un fetichismo de la "espacialización", donde se hace uso -a veces excesivo- de los modelos abstractos, donde la realidad y las actividades humanas se reducen a relaciones entre puntos, áreas, flujo, direcciones, volúmenes, etc., es decir, se limitan a relaciones geométricas, siendo que el hombre es el centro de la geografía actual, tanto por la importancia de sus problemas de urgente solución (como la contaminación ambiental, la pobreza, los desequilibrios del desarrollo, la irracionalidad en el uso de los recursos naturales, etc.) y por la históricamente significativa influencia de sus actividades sobre el devenir de la naturaleza, influencia cada vez más marcada que implica el desarrollo de sistemas cada vez más complejos, derivados de las relaciones mutuas entre sociedad y naturaleza,

A continuación se procede a establecer las diferencias básicas entre la geometría plana y la geometría esférica, ya que esto ha sido fundamental para el desarrollo de la teoría de la relatividad, y lo es también para la geografía por sus importantes vínculos con la geometría, en el sentido de que los postulados de la geometría clásica no son la única opción para la representación espacial, ni tienen una validez universal como antes se pensaba, e incluso se llegó a afirmar que las propiedades del espacio más allá de la tierra eran las mismas que se estudiaban en los estrechos horizontes del pensamiento antiguo.

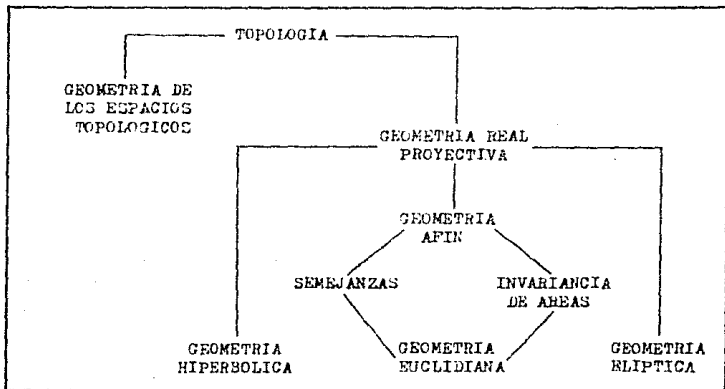


FIGURA N° 18. Esquema de las divisiones de la geometría adaptado por Harvey del modelo de Klein y Adler.

La geometría euclidiana o clásica no constituye el único esquema geométrico para la representación del espacio, y de acuerdo a lo que muestra la figura N° 18, no ocupa en el cuadro general de la geometría un lugar singular ni es su expresión más general.

En el pasado, el hombre llegó a pensar que el espacio que habitaba era plano y en base al escaso conocimiento empírico del entorno fue desarrollada una geometría propia de esa época con carácter deductivo, donde las características particulares fueron derivadas de principios generales, pero con un limitado conocimiento de la realidad. Ahora se acepta universalmente que la tierra es semiesférica (la forma precisa de la tierra se ha definido como un geocide), y está confirmado que la

menor distancia entre dos puntos no es una línea recta (esto sucede a nivel de dimensiones terrestres), sino una curva llamada geodésica, por ejemplo, entre las ciudades de Nueva York y Londres el camino más corto no es una ruta directa a través del Atlántico, sino una sección de círculo máximo que se desvía hacia el norte pasando por la Nueva Escocia, Terranova y cerca de Islandia. Entonces: "Por lo que respecta a la superficie de la tierra, no es válida la geometría de Euclides."¹¹² Pero, es muy importante aclarar que para fines prácticos, se considera insignificante el error de las mediciones en base a la geometría tradicional, introducido por la curvatura de la tierra, cuando se trabaja en zonas pequeñas.

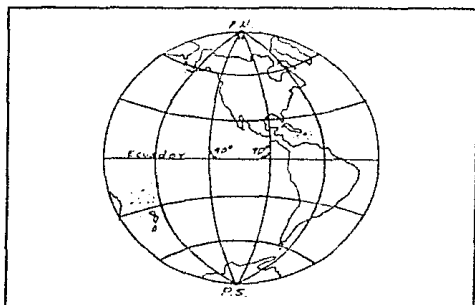


FIGURA N° 19. Cuando se forma un triángulo con segmentos de grandes círculos (arcs), la suma de los ángulos interiores será muy superior a los 180° de la geometría plana.

Si se dibuja un triángulo gigante sobre la superficie terrestre con dos vértices en el Ecuador y otro en el polo norte, esta construcción no satisface el teorema clásico que afirma que la suma de los ángulos interiores de un triángulo es siempre igual a dos ángulos rectos, o sea 180°, tal como se indica en la figura N° 19, ya que dicho triángulo en realidad mide mucho más del valor mencionado, pero hay otra cosa muy importante, y es que el grado en que excede el valor medio sobre la esfera a los 180° de Euclides, es proporcional al tamaño del triángulo (relatividad de la escala).

¹¹² BARNETT, Lincoln. El universo y el doctor Einstein. Fondo de cultura económica. 1985, p. 83.

Si se forma un pequeño triángulo sobre el terreno usando varas y cuerdas, o bien, si se pudiesen colocar tres buques que apenas se vieran entre sí en el mar, la suma de los ángulos interiores formados equivaldrá a tan poco más de dos ángulos rectos (180°) siendo muy difícil determinar alguna diferencia. "Vivimos en un mundo en que el espacio tiene tres dimensiones. Y nuestro conocimiento empírico del espacio está basado en la medida de las pequeñas distancias y de los ángulos. Antes de Einstein, se creía que las medidas confirmaban la geometría euclidiana dentro de los límites de exactitud alcanzable. Actualmente ya no se piensa lo mismo. Sigue siendo cierto que, por medio de lo que podríamos llamar un artificio natural, podemos hacer que la geometría euclidiana parezca cierta en una pequeña región como la tierra."¹¹³

Landau y Rumer, por otra parte, explican la diferencia entre la física clásica y la relativista mediante un ejemplo que tiene en cuenta la relatividad de la escala: "La relación entre la física que tiene en consideración la teoría de la relatividad, que de otra manera se denomina física relativa, y la vieja física, que la llaman clásica, es aproximadamente la misma que existe entre la geodesia superior, que toma en consideración la esfericidad de la tierra, y la geodesia primaria, que prescinde de esta esfericidad. La geodesia superior debe partir de la relatividad del concepto de la vertical. La física relativa debe tener en cuenta la relatividad de las dimensiones del cuerpo y la relatividad de los intervalos de tiempo entre dos acontecimientos, al contrario de la física clásica para la cual esta relatividad no existe."¹¹⁴ Del mismo modo que la geodesia superior es el desarrollo de la primaria, la física relativista fue el desarrollo y la ampliación de la física clásica.

De lo anterior se deriva que debido a las importantes relaciones entre geografía, física y geometría, la teoría moderna del espacio-tiempo (teoría de la relatividad) debe ser estudiada profundamente ya que aporta el conocimiento más objetivo en la época moderna respecto al comportamiento de las leyes físicas a escala terrestre y astronómica.

¹¹³ RUSSELL, Bertrana. ABC de la relatividad. Ariel. 1970, p. 87.

¹¹⁴ LANDAU, L. RUMER, Y. Que es la teoría de la relatividad. Quinto sol. Pp. 74-75.

c.1. EL OBJETO DE LA GEOGRAFIA DESDE EL PUNTO DE VISTA RELATIVISTA.

El espacio es una propiedad común a todos los procesos existentes. La relación espacial es la forma elemental en que se manifiesta el encañamiento entre cada proceso del universo y su contexto.

Las propiedades espaciales están determinadas fundamentalmente por la distribución de las masas y las energías, así como por los efectos y las interacciones mutuas de los procesos que manifiestan esas propiedades espaciales. De ahí que el espacio en cualquier escala es material, objetivo, concreto, pero a la vez es mutable, dinámico, siempre relativo. De la misma manera que la existencia material de los objetos es espacial, el espacio es material, ninguna categoría esencial de la existencia (espacio, tiempo, materia, energía y movimiento) es absoluta, todas ellas son mutables y se pueden transformar unas en otras, es decir, son relativas, y esto ha sido demostrado con la teoría de la relatividad de Albert Einstein.

El espacio geográfico, no está exento de esta caracterización, es parte del espacio general considerado por los físicos y los matemáticos, pero considerado desde una perspectiva propia del geógrafo, el cual no puede excluir de su gestión a la actividad humana.

El espacio geográfico es parte del espacio terrestre, que ha sido explorado y utilizado por el hombre progresivamente ampliando sus horizontes. El espacio geográfico se encuentra en la zona de contacto de las tres grandes capas de la tierra (litosfera, hidrosfera y atmósfera), donde se ha desarrollado la vida (biosfera), se considera como su centro de acción a la superficie terrestre, aunque este concepto es extensivo a las zonas colindantes de dicha superficie. De acuerdo a lo dicho, la noción de espacio geográfico se ha transformado con el desarrollo de la humanidad, y no constituye una zona continua en cuanto a su evolución espacial y temporal.

En resumen, el espacio geográfico, entendido como una entidad dinámica y evolutiva, es el área donde convergen los factores físicos (geosfera), biológicos (biosfera) y sociales (sociosfera) en sus mutuas relaciones y básicamente sobre la superficie terrestre.

Hoy se considera al espacio geográfico como un sistema altamente estructurado, donde las funciones de sus elementos y factores actúan con mayor o menor intensidad a través del tiempo, entonces, todo hecho

o fenómeno que ocurra en su dominio puede considerarse como un suceso, como una manifestación temporal de la estructura y la dinámica espacial.

Se ha insistido acerca de las importantes relaciones entre la geografía y la historia, en el sentido de que ambas disciplinas abarcan el estudio de la realidad (espacio y tiempo) en el ámbito de las ciencias sociales. Ya se ha referido en este estudio (p.115) el juicio que hace el gran teórico de la ciencia Bertrand Russell al respecto, quien sostiene que la separación de la geografía y la historia supone la separación del tiempo y el espacio, ya que ambas categorías están enlazadas por el movimiento como espacio-tiempo, y opta por la utilización del término geografía, que incluye el estudio de la realidad a nivel de la superficie terrestre.

Por su parte, Gustavo Fochler en su estudio sobre las relaciones de la geografía y la historia afirma que: C. Ritter (1779-1859). Señaló de un modo definitivo 'la importancia del elemento histórico en la geografía, fijando al mismo tiempo sus verdaderos límites'. Ritter defendió a la geografía frente a las invasoras pretensiones de la historia, rechazando los conceptos de los historiadores en cuanto consideran a la geografía como una mera ciencia auxiliar de aquélla."¹¹⁵

Se ha visto que en el pasado, durante los inicios de la cultura occidental en Grecia, unas u otras ciencias han tenido orígenes comunes sin una diferenciación como la que ahora se conoce, y no debe haber categorizaciones sobre la superioridad o inferioridad de las diferentes disciplinas, tampoco se debe subestimar a las que sirvan como apoyo o auxiliares a otras teniendo un carácter complementario para el avance del conocimiento; de la misma forma que no se aceptan fenómenos, leyes y categorías absolutas, no deben aceptarse teorías ni disciplinas absolutas, o bien, superiores e inferiores.

"Todos los acontecimientos históricos necesitan un escenario para desarrollarse, y por eso la historia no puede hacer caso omiso de la geografía que es la ciencia que investiga a este escenario, es decir, la superficie terrestre. En el mismo sentido se puede decir que la geografía no puede investigar a una determinada región geográfica

¹¹⁵ FOCHLER, Gustavo. "Las relaciones entre geografía e historia". En: Antología de geografía histórica moderna y contemporánea. UNAM. 1974, p.20.

influida ya por la actividad humana, sin conocer los hechos políticos y culturales del pasado, puesto que el paisaje cultural es una región 'humanizada', formado no sólo por los fenómenos naturales en sentido estricto, sino además por los elementos culturales que han actuado sobre la superficie en cuestión."¹¹⁶

Ahora bien, Fred Schaefer ha hecho una aguda crítica a la posición excepcionalista sosteniendo que esta se origina de los juicios metafísicos de Immanuel Kant (1724-1804) con respecto a las categorías de espacio y tiempo, estudiadas por la geografía y la historia respectivamente y considerándolas como absolutas. "Kant postuló la posición excepcionalista no sólo para la geografía, sino también para la historia. Según él tanto la historia como la geografía se encuentran en una posición excepcional, diferente a la de las llamadas ciencias sistemáticas."¹¹⁷ Esta argumentación ha tenido profundas implicaciones en la geografía cuando lugar a la pretendida singularidad y unicidad de esta disciplina y de su objeto de estudio, en base a la autoridad de Kant quien fue uno de los más grandes pensadores de todos los tiempos y a que gran parte de su vida la dedicó a la enseñanza de la geografía.

De acuerdo a lo expuesto, se deriva que cada disciplina tiene un campo propio y una identidad, y a la vez forma parte del cuerpo general de la ciencia, así la geografía y la historia tienen su propio objeto y métodos de estudio y pueden auxiliarse de manera correspondiente. Si en la naturaleza no existen manifestaciones, fenómenos o categorías absolutos e inmutables, no puede haber en el conocimiento teorías, leyes o doctrinas ajenas al contexto de la ciencia o la filosofía.

Por otra parte, cada disciplina evoluciona históricamente, y en geografía es un hecho de enorme significado el que en el pasado haya sido la ciencia general de la tierra, y progresivamente se haya ido desmembrando con el avance de otros campos cognoscitivos (geofísica, geología, meteorología, etc.), entonces, por qué no intentar que la geografía trascienda los límites actuales a los que ha sido restringida.

¹¹⁶ FOCHLER, Gustavo. "Las relaciones entre geografía e historia". En: Antología de geografía histórica moderna y contemporánea. UNAM. 1974, pp. 20-21.

¹¹⁷ SCHAEFER, Fred. Excepcionalismo en geografía. Ediciones de la universidad de Barcelona. 1974, p. 44.

Como consecuencia de la teoría de la relatividad se ha derivado que el marco más propio para el estudio de la realidad es un continuo espacio-tiempo, y esto ha tenido importantes repercusiones en el campo de la geografía ya que existe un acuerdo, en general, sobre la importancia de la dimensión temporal en la consideración analítica del espacio.

El tiempo, al igual que el espacio, es una propiedad común a todos los procesos existentes. La relación temporal es la forma elemental en la cual se expresa el desarrollo de todos y cada uno de los procesos del universo. A través de la relación temporal se manifiesta la duración de cada proceso, la sucesión de sus cambios y el ritmo en que se efectúan. Esta misma ordenación pone en evidencia que el tiempo no es algo independiente de los procesos, ni es un flujo exterior en el cual transcurren estos. "En rigor, el tiempo es sencillamente el conjunto de las propiedades temporales contenidas en los procesos y que les son inherentes como modalidades de su existencia. Por lo tanto, hablando estrictamente, los procesos no existen en el tiempo, sino que su existencia es temporal."¹¹⁸ Ya que la existencia de los procesos es espacial y temporal a la vez, y estando unidas estas categorías por su misma dinámica, sostiene Eli de Gortari que: "De una manera más profunda aún, el tiempo y el espacio son formas fundamentales de la existencia, que se encuentran vinculadas indisolublemente. El espacio es la totalidad de las manifestaciones objetivas del universo en una multitud de ordenaciones coexistentes. En tanto que el tiempo es ese mismo conjunto total de las manifestaciones de la existencia, solo que incluido en un orden único en el cual los procesos son covariantes."¹¹⁹ Así, la posición de un proceso en el continuo espacio-tiempo relativista, queda definida de una manera necesaria y suficiente por tres coordenadas espaciales y una sola coordenada temporal. Pero es indispensable que no se confunda la dimensión temporal única con alguna de las tres dimensiones espaciales y, en consecuencia, tanto éstas como aquellas deben ser consideradas con sus características propias, sin perjuicio de que se mantenga su vinculación indisoluble."¹²⁰

¹¹⁸ GORTARI, Eli de. Dialéctica de la física. Océano. 1986, p. 67.

¹¹⁹ Ibid. pp. 67-68.

¹²⁰ Ibid. p. 68.

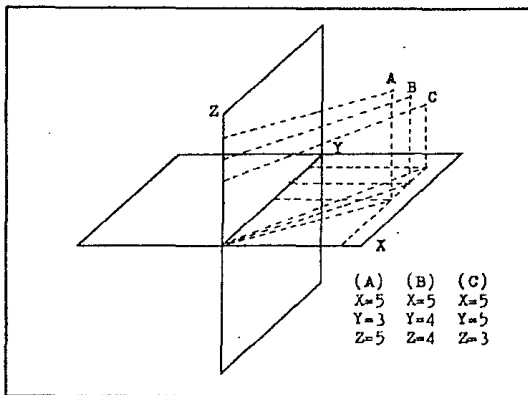


FIGURA N° 20. Las letras A, B, C, representan tres etapas sucesivas en el posicionamiento (trayectoria) de una partícula material en movimiento. Si el eje Y es norte-sur, el eje X este-oeste, y Z la altitud, el desplazamiento de la partícula será descendente y con rumbo norte.

La figura N° 20 muestra como, de una manera sencilla se puede describir la trayectoria de los cuerpos (en áreas que no sean muy grandes para ser afectadas por la curvatura de la tierra, o bien, por la curvatura del espacio debido a la gravedad) en el espacio terrestre, donde X, Y, Z, representan un sistema de coordenadas rectangulares tridimensional, y T estaría representada por las etapas sucesivas en el desplazamiento de cualquier objeto, en un continuo espacio-tiempo de cuatro dimensiones.

De hecho es posible asignar una unidad de tiempo convencionalmente, con respecto a la cual se mida la duración del desplazamiento de los cuerpos materiales. Resulta claro que la velocidad se define por la relación entre la variación del espacio y la variación del tiempo en un proceso dinámico. Por ejemplo, en el movimiento de rotación de la tierra, la velocidad es la relación entre el ángulo girado y la duración, esta es una velocidad angular, cuyo cálculo es más complejo que el de una velocidad lineal. En la teoría de la relatividad la unidad universal de tiempo es la velocidad de la luz, que constituye el límite

máximo para el movimiento de toda partícula material; de ahí que sus mayores aplicaciones sean en el campo de la astronomía.

La determinación de la posición de un cuerpo en el espacio, como ya se ha explicado, requiere de un conocimiento elemental de la geometría. El mismo Einstein visualizó la importancia de tal procedimiento tanto en la vida diaria como en la práctica científica. "Toda descripción del lugar en que se produce un acontecimiento, o bien, en donde se encuentra un objeto, consiste en indicar el punto de un cuerpo rígido (cuerpo de referencia) con el cual dicho acontecimiento coincide. Este procedimiento no sólo se emplea en la descripción científica, sino también en la vida cotidiana."¹²¹ Einstein hace referencia a la posición de la plaza de Potsdam en Berlín, y sucesivamente explica como un objeto o un fenómeno debe ser referido a un cuerpo rígido de referencia (sistema de coordenadas), ya que de esta forma sólo se pueden localizar objetos sobre la superficie terrestre, se debe hacer extensiva la determinación para la localización de los cuerpos que estén por encima de la superficie, logrando así un perfeccionamiento de la noción de lugar, prolongando en la altura las medidas.

El significado físico de la determinación de los lugares debe buscarse siempre conforme a la explicación precedente (aunque generalmente se hace de una manera indirecta), para que los resultados de la física, la geometría o la astronomía no se pierdan vagamente por falta de claridad.

En el ámbito geográfico, se han desarrollado importantes estudios que incluyen ya la unión del espacio con el tiempo. Torsten Hagerstrand de la escuela sueca de Lund, basa su gestión en la espacialización de las actividades humanas, espacialización se refiere aquí al estudio geométrico de los fenómenos (sucesos) sobre la superficie terrestre. Se estudia como la gente emplea su tiempo y utiliza el espacio, se trata de establecer un cálculo espacio-temporal de las actividades humanas. Se localiza cada individuo o grupo en cada momento y lugar, se observan sus desplazamientos, sus detenciones, las relaciones que se establecen con las cosas y con las demás gentes, esta información se representa en un cubo (volumen de Hagerstrand).

¹²¹ EINSTEIN, Albert. La relatividad. Grijalbo. 1986, p. 18.

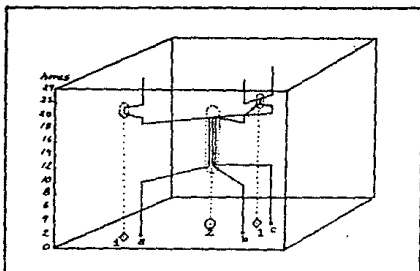


FIGURA N° 21. Las trayectorias individuales en el volumen de Hagerstrand. En este volumen espacio-temporal, la vida de cada individuo aparece bajo la forma de una trayectoria, donde: a, b, c, son individuos en su domicilio a las 0 horas; 1: centros comerciales; 2: centros de trabajo. El eje vertical se refiere al tiempo y el horizontal indica todos los desplazamientos espaciales de la gente.

Asimismo, Brian Berry sostiene que: "Quizá en los últimos años la inmensa mayoría de los estudios geográficos hayan centrado su atención sobre esas propiedades del medio ambiente -forma espacial y diferenciación por áreas, interacción y organización espaciales en puntos determinados del tiempo-, que los geógrafos, en diversa medida han venido considerando como terreno propio de su actividad."¹²² Y citando a Harvey incide sobre la necesidad de tomar en cuenta la dimensión del tiempo: "David Harvey (1969), entre otros, ha expuesto razonadamente su parecer de que un paso necesario para lograr una tal metamorfosis de la geografía parece que debería consistir en examinar las interacciones suscitadas entre proceso temporal y forma espacial."¹²³ A la vez que sostiene que es necesario un entendimiento relativo de la realidad y del conocimiento mismo. La realidad de cualquier elemento dentro de un sistema, no sólo es algo relativo que aparece condicionado al entero sistema de elementos, sino que también viene determinado por

¹²² BERRY, Brian. "Un paradigma para la geografía moderna." En: Nuevas tendencias en geografía. 1975, pp. 35-36.

¹²³ Ibid. p. 20.

el tiempo. Buscar alguna cosa fija en un sentido absoluto equivale a tratar con una pura imaginación falsa, puesto que toda existencia fenoménica, cuando se le añade la dimensión temporal, inmediatamente ha de verse también como algo transitorio. Ninguna cosa en particular puede decirse que sea real en un sentido absoluto; en cualquier momento que se considere, está pasando a ser otra cosa distinta. Así por ejemplo, todos y cada uno de los individuos (objetos o fenómenos) vienen constituidos por un haz de flujos energéticos organizados temporalmente, que van envejeciendo progresivamente y que se encaran con su desintegración última. "Con todo, lo que se necesita para el progreso de nuestra ciencia es un pensamiento hipotético que reconozca la relatividad de la existencia y la verdad o certeza relativa de las percepciones."¹²⁴ De las ideas de Berry es posible deducir que el hecho de admitir que tanto la realidad como el mismo conocimiento ha de conducirse a la ciencia geográfica a un entendimiento relativo de los sucesos, su existencia es relativa, existen en el espacio y en el tiempo, o más bien, su existencia es espacio-temporal; pero la geografía, por tener en cuenta al hombre como sujeto actuante y a la vez como sujeto pensante, que concibe la realidad y la maneja (transforma) de acuerdo a sus intereses, debe considerar -y esta aclaración es fundamental- los tipos de relatividad psicológica y fisiológica, descritas al principio de este estudio, junto con la física, con la diferenciación de que ésta última hace abstracción de aquellas para el estudio de la naturaleza como tal.

Es también un tema controvertido en la geografía actual el problema de la relatividad física referente a la posición del punto de vista, en relación con el objeto estudiado, y esto es esencial en el diseño geográfico de las unidades de estudio. "Las relaciones de la cartografía con el espacio que se propone representar pueden abordarse desde diversos puntos de vista; todos conducen a una noción relativa de las relaciones entre el espacio y el tiempo, que se concreta en el problema de la escala."¹²⁵ De acuerdo a la relatividad de la escala, dependiendo de la distancia o el ángulo de visión del observador, unos u otros rasgos (manifestaciones) de la realidad serán inteligibles.

¹²⁴ BERRY, Brian. "Un paradigma para la geografía moderna". En: Chorley, Richard. Nuevas tendencias en geografía. 1975, p. 21.

¹²⁵ JOLY, Fernand. La cartografía. Ariel. 1979, p. 37.

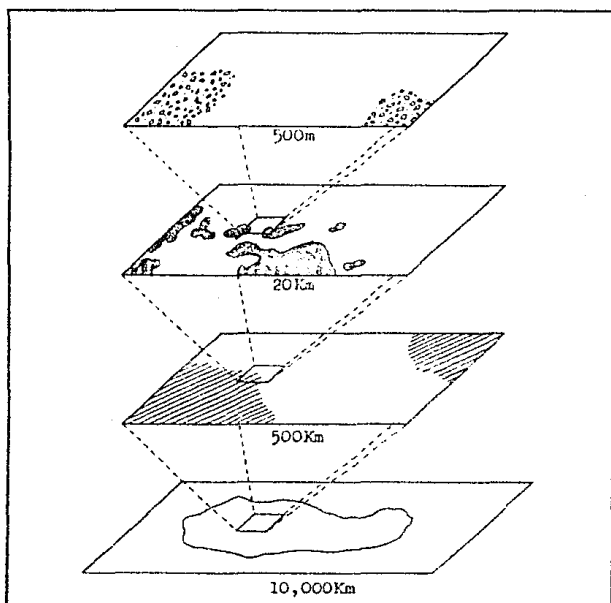


FIGURA N° 22. Distribución de una especie vista a diferentes escalas. Dentro de lo que se considera su área geográfica, una especie determinada se encuentra sólo en algunas localidades, formando manchas más o menos continuas, en el interior de las cuales la distribución de los individuos puede ser altamente irregular.

En ecología y biogeografía, entre otras disciplinas, se han realizado estudios de ecosistemas mediante flujos de materia y energía a través del tiempo y en un área geográfica determinada. Margalef dedica parte de su obra sobre ecología específicamente al ecosistema en el espacio y en el tiempo, e incide sobre la relevancia del estudio complementario de estas categorías. "En los tratados de ecología no se suele prestar atención especial a aquellos rasgos de la organización de los ecosistemas que se relacionan con la extensión en el espacio de los mismos. A lo más se estudian como simples problemas estadísticos, más indeseables que sugestivos, nacidos de la heterogeneidad de las muestras. Otra prueba de este desvío se encuentra en el uso continuo de las expresiones

de Lotka y Volterra, sin hacer notar jamás que prescinden del espacio. Estas y otras expresiones consideran el ecosistema como una sucesión de momentos, en el tiempo, pero los tratan como si todos los sucesos ocurrieran en un mismo punto. Sin embargo, dos elementos cualesquiera del ecosistema no pueden ocupar el mismo espacio y esta limitación es tan importante como la de distinguir entre antes y después en el tiempo. En realidad, el tiempo y el espacio no se pueden tratar independientemente.¹²⁶ Ahora bien, junto con el problema de la consideración del ecosistema en el espacio —como ha hecho ver Margalef— debe tenerse en cuenta también la cuestión de la escala, ya que de acuerdo a su variación, las especies o individuos estudiados tendrán unas distribuciones cambiantes muy significativas, tal como indica la figura N° 22. Los cambios de significación en el agrupamiento de los seres vivos serán más dinámicos que los que se producen en la naturaleza inanimada de la superficie terrestre porque los ritmos de sus movimientos son más acelerados en las diferentes áreas geográficas.

Un importante intento de sistematización admitiendo la relatividad del hecho significativo, de acuerdo a la escala, se ha experimentado en la moderna escuela francesa de geografía. "La homogeneidad de una zona es, pues, muy relativa. Se refiere a un cierto espacio y una cierta duración que no son completamente independientes entre sí, lo que se expresa diciendo que se refiere a una cierta escala espacio-temporal. El espacio geográfico puede por tanto ser subdividido en una jerarquía de unidades de diversa magnitud, que se denominan unidades de paisaje o isoesquemas. Las relaciones espacio-tiempo no son forzosamente las mismas para unidades de distinta naturaleza."¹²⁷ Así, se pueden citar por ejemplo las de orden físico, para superficies iguales, exigen un tiempo de organización generalmente más largo que las de orden biológico y, con mayor razón, que las de orden humano. Pero las componentes geográficas solamente son comparables en el marco de una misma unidad, tal como se observa en la figura N° 23.

¹²⁶ MARGALEF, Ramón. Ecología. Omega. 1982, p. 821.

¹²⁷ JOLY, Fernand. La cartografía. Ariel. 1979, p. 45.

Orden	Extensión espacial	Orden físico	Orden biológico	Orden humano	Ejemplos	Escala cartográfica
1.º orden	$\geq 10^7$ km ²	Zona	Zona	Zona	Plataformas continentales Océanos Zona tropical Asia de los monzones	$> 1:10 000 000$
2.º	10^6	Dominio Sistema 10^{10} años	Dominio 10^4 años	Dominio 10^{10} años	Domino hercyniano. Sistema al pinos. Dominio montañoso alpino.	1:5 000 000 1:1 000 000
3.º	10^5	Sub sistema	Región 10^3 años	Provincia 10^4 años	Macizo Central. Cuenca pari sien Alpes franceses. Me diesta mediterráneo	1:500 000 1:200 000
4.º	10^4	Región	Región 10^2 años	Región 10^3 años	Languedoc. Ile de France. Preat pina Languedoc.	1:200 000 1:100 000
5.º	10^3	País	Geosistema 10^2 años	País 10^2 años	Carthage. Rouen. C. Cataluña Vignoble del Languedoc.	1:100 000 1:50 000
6.º	10^2	Formas deca kilométricas 10^2 años	Geofacies 10^2 años	Manzana cuadrada 10^2 años	Sección de valle Delta del Rodano. Arboleda de om bría. Territorio Ciudad.	1:20 000 1:10 000
7.º	10^1	Formas kilométricas 10^1 años	Geotopo 10^1 años	Manzana cuadrada 10^1 años	Lina vertiente. Un cono de deposición Jurásico en Ba rrio urbano.	1:5 000 1:2 000
8.º	1	Formas hectométricas 10^0 años	Biotope 1 10 años	Manzana cuadrada 10^0 años	Ledero de res. Carta Sector cul tural. Manzana cuadrada en ciudad.	1:2 000 1:1 000
9.º	0,1 Ha	Microformas 10^0 años		Parcela 1 10 años	Detalle de construcción. Frente de construcción. Micropoblación. Inmueble. Parcela.	1:1 000 1:100
10.º	en μ	Formas microscópicas Rosa	Celula		Texturas litológicas. Mantos se culares y animales.	< 100
11.º	en Å	Formas ultra microscópicas Molecular	Molécula		Texturas mineralógicas. Estructuras atómicas.	< 1.000 a 10 000

FIGURA N° 23. Escalas espacio-temporales (según Bertrand, G. y Brunet, R.) adaptada por Fernand Jolie, denominadas también isocoquemas o unidades de paisaje.

Resumiendo, existe en el contexto moderno de la geografía la necesidad apremiante de entender su objeto de estudio, esto es, el espacio geográfico como una noción relativa, en el sentido que la realidad y el conocimiento científico también lo son.

Entonces, la posición propia aquí adoptada sería: el espacio geográfico es, más bien, espacio-tiempo geográfico, el continuo que se ubica en las zonas de contacto de las grandes capas de la tierra (litosfera, atmósfera e hidrosfera) donde se desarrolla la vida (biosfera), las cuales se relacionan dinámicamente y son estudiadas a través de los principios de la geografía, que a continuación se describen bajo esta perspectiva.

6.2. LOS PRINCIPIOS DE LA GEOGRAFIA DESDE EL PUNTO DE VISTA RELATIVISTA.

La teoría de la relatividad ha tenido trascendentales consecuencias teóricas y prácticas en la ciencia y la filosofía modernas. Básicamente en lo referente a la concepción de la existencia de los fenómenos y, planteando la relatividad física en contraposición al entendimiento absoluto dominante por mucho tiempo antes del siglo XX. Se confirma la inexistencia de algún sistema de referencia en reposo absoluto, a la vez que se introduce el continuo espacio-tiempo tetradimensional en que se manifiestan los sucesos de la realidad.

En geografía, ya se ha planteado la necesidad de una transformación operada en base a la concepción relativa de la existencia (sobre todo espacial) de los fenómenos, y con relación a la necesidad imperiosa de tomar en consideración la dimensión temporal. Pero, desde el punto de vista de la geografía (que incluye a la acción humana como parte de la dinámica espacial), no es posible limitar el estudio del espacio y del tiempo sólo a la relatividad que depende de las leyes puramente físicas (o naturales), poniendo gran énfasis en la percepción del entorno y en la relatividad física referente al punto de vista (distancia y ángulo de visión) del observador, íntimamente ligado al problema de la escala.

Pues bien, los principios geográficos, deben entenderse como las etapas sucesivas de acercamiento al estudio de las leyes que rigen la estructura y la dinámica espacial y temporal sobre la superficie de la tierra.

Todo estudio del espacio-tiempo geográfico parte siempre del proceso de determinación de la localización de los puntos (lugares) en relación a un sistema de referencia (coordenadas geográficas). Como ha advertido Dollfus, la localización implica tanto la determinación de lugar como la de la posición del punto, fenómeno o suceso a estudiar.

El lugar se refiere al emplazamiento, al asiento territorial de cada elemento del espacio (espacio-tiempo), o sea, a su valor intrínseco; en tanto que la posición implica el valor de tal elemento con respecto al contexto en el cual se inscribe, esto es, al sistema del que forma parte. Estas dos nociones están vinculadas dialécticamente, ya que son a la vez distintas y complementarias, en el sentido de que ningún punto o elemento del espacio está totalmente aislado e independiente del todo concatenado e interrelacionado.

Se ha dado un lugar muy importante al problema de la escala, ya que de acuerdo a sus cambios, unos u otros rasgos del espacio geográfico se hacen inteligibles, lo mismo podría decirse con respecto al paso de un sistema de proyección a otro, de ahí la necesidad de estudiar la posibilidad de construir un sistema de referencia al cual se puedan reducir sistemáticamente todos los demás mediante la transformación de coordenadas.

Es bien conocido el hecho de que, con base en una escala determinada (1:100,000,000 por ejemplo), las ciudades por grandes que sean van a aparecer designadas por un punto insignificante en el contexto mundial, pero a otra escala (1:300,000) cada ciudad puede aparecer representada en su configuración general (forma, trazado de calles, límites, etc.), más aún, en gran escala (1:50,000) todos los detalles aparecerán, con nombres de calles, parques, hospitales, escuelas, iglesias, etc., A lo anterior se le llama relatividad de la escala o del punto de vista en cuanto a distancia. Por otra parte, existe también la relatividad del punto de vista en cuanto al ángulo de observación, por ejemplo, en las series de fotografía tomadas en sentido vertical, oblicuo u horizontal las cuales muestran diferentes aspectos o facetas de la misma realidad.

El estudio de la distribución de los fenómenos se refiere a la forma o disposición en que se reparten los puntos o lugares en el espacio geográfico, lo que da como resultado una configuración específica para cada escala (ver figura N° 22). Ahora bien, la extensión se refiere al tamaño o magnitud que abarca tal configuración en cada una de las dimensiones espaciales, así como en la dimensión temporal (duración). Para ello, ya se han sistematizado jerárquicamente los fenómenos de acuerdo a la escala espacial (figura N° 16, p. 92), y espacio-temporal (figura N° 23, p. 133).

Una vez que se ha establecido el carácter complementario tanto de la localización como de la distribución de los sucesos en el continuo espacio-temporal geográfico, se procede a poner en evidencia los lazos y las relaciones causales que rigen su dinámica o comportamiento. El geógrafo debe descifrar su contenido y significado. Desde el punto de vista dialéctico se sostiene que debe realizarse una adecuada relación análisis-síntesis integrando el conjunto y descomponiéndolo en sus partes, deben buscarse las correlaciones en los distintos niveles,

medir las interacciones, de ahí la necesidad del estudio contextual de las interrelaciones causales.

Cada elemento estudiado tiene un valor intrínseco y un valor contextual, de acuerdo a la relatividad de la escala. Los hechos aislados (abstraídos) mentalmente sólo adquieren concreción en las relaciones que mantienen entre sí. De acuerdo con Milton Santos, sólo es posible estudiar las correlaciones entre hechos aislados en la gestión analítica, pero esto por sí mismo carece de valor, ya que el análisis contextual es donde se integran las mutuas relaciones causales entre todos y cada uno de los elementos del espacio geográfico. Hoy más que nunca se afirma la necesidad de dar al conocimiento geográfico la unidad en base a la relación complementaria entre análisis y síntesis.

En su expresión más elemental el principio de interrelación causal tiene sus raíces en el concepto de causalidad, que ha evolucionado con el tiempo: "En el curso del desenvolvimiento histórico de la ciencia, la causalidad ha tenido varias formulaciones diferentes. Pero, no obstante, la diversidad de las formas adoptadas para expresarla, siempre ha sido el medio para poner de manifiesto la conexión dinámica y recíproca existente entre todos y cada uno de los procesos objetivos, lo mismo que entre los distintos niveles de la existencia."¹²⁸ La causalidad constituye la expresión particularizada de la conexión y la acción recíproca existentes entre todos y cada uno de los procesos del universo. Cada proceso se encuentra conectado con los demás de una manera múltiple y polimorfa; ya sea directamente, indirectamente o por contigüidad, a través de otros procesos concatenados. "Igualmente, en cada proceso existe una interdependencia y una conexión íntima entre todos y cada uno de sus elementos y aspectos, siendo esta conexión intrínseca la que produce la unidad del proceso. A la vez, la conexión universal entre todos los procesos y en el interior de los procesos es una relación activa y recíproca."¹²⁹ En base a esta relación es posible establecer la correspondencia entre todos los niveles de existencia objetiva.

En resumen, los principios de localización, distribución e interrelaciones causales entendidos como un proceso constituyen la base unificada para el estudio más objetivo de la estructura y la dinámica del espacio-tiempo geográfico.

¹²⁸GORTARI, Eli de. Dialéctica de la física. Océano. 1986, p. 189.

¹²⁹Ibid. p. 163.

6.3. APLICACIONES DE LOS PRINCIPIOS RELATIVISTAS A LA GEOGRAFÍA.

Sin duda, la revolución operada en el pensamiento científico debido al surgimiento de la teoría de la relatividad es extensiva -aunque con variantes- a muy diversos ámbitos del conocimiento. En geografía es necesario que se produzca un cambio basado en la relatividad física, pero a la vez, con fundamento en la relatividad psicológica y fisiológica -ya que no se puede prescindir del elemento humano en el estudio de la superficie terrestre-. Lo que se requiere es, una transformación conceptual basada en el entendimiento relativo tanto de la realidad como del mismo proceso pensamiento-conocimiento, para lograr una sistematización objetiva de los fenómenos estudiados y después poder pasar al cambio metodológico, básicamente en la cartografía.

Considerando solamente los fundamentos de la relatividad física -de acuerdo al objetivo central de este trabajo-, se considera que las aplicaciones elementales derivadas de este cambio de concepción del mundo, son las siguientes:

a) En la enseñanza de la geografía, ya que la teoría de la relatividad brinda el panorama más satisfactorio en la explicación de las leyes que rigen la naturaleza, sobre todo en gran escala (astronómica), es importante explicar a los alumnos la nueva imagen del universo, y la forma en que los factores cósmicos afectan a los sucesos geográficos y a la vida sobre la superficie terrestre. Al alumno en general, le es difícil entender como es que debido a la orientación relativa de los objetos o fenómenos, se producen cambios que no son lógicos de una manera aparente, esto sucede por ejemplo, en la desviación de los vientos por efecto de la rotación terrestre.

"Si la tierra no girase sobre su eje, los vientos seguirían la dirección del gradiente de presión. En lugar de esto, la rotación de la tierra origina otra fuerza, la fuerza de Coriolis, que tiende a curvar las corrientes de aire. La dirección en que actúa la fuerza de Coriolis es determinada por la ley de Ferrel: cualquier objeto o fluido que se mueva horizontalmente en el hemisferio norte tiende a ser desviado hacia la derecha de su trayectoria, independientemente de la orientación que esta tenga. En el hemisferio sur se produce una desviación similar hacia la izquierda de la trayectoria."¹³⁰

¹³⁰ STRAHLEN, Arthur. Geografía física. Omega. 1984, p. 168.

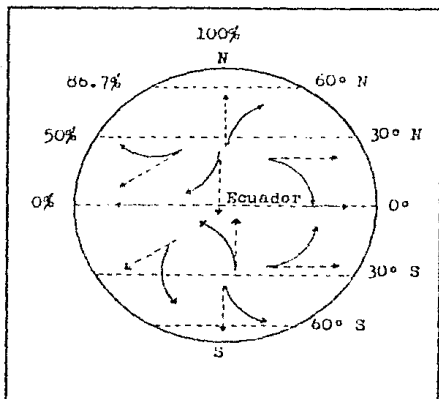


FIGURA N° 24. Fuerza desviadora producida por la rotación de la tierra. La desviación es nula en el Ecuador y máxima en los polos, y se produce hacia la derecha del punto de origen de los vientos en el hemisferio norte, y hacia la izquierda en el hemisferio sur.

Tal como indica la figura N° 24, la desviación de los vientos en sentidos diferentes en el hemisferio norte y en el hemisferio sur va a depender de la posición relativa del punto de origen de los vientos.

b) Los tipos de relatividad en el mundo físico son reales y objetivos, pero en la teoría de Einstein se mencionan para abstraer la relatividad puramente física. En este sentido Bertrand Russell, ha dado la pauta al deducir de la enorme y compleja variedad de manifestaciones de la existencia, los tipos de relatividad ya explicados, de ahí que la geografía -por incluir al hombre en su estudio- no puede prescindir de ellos para la búsqueda de las leyes que rigen la estructura y la dinámica espacio-temporal en la superficie terrestre, mediante estudios integrales y sistematizados.

c) Para el desarrollo de la cartografía, y esto se relaciona estrechamente con el proceso de actualización cartográfica, que es fundamental, para evitar que los documentos básicos del geógrafo caigan con el paso del tiempo en la obsolescencia, es decir, la cartografía, al igual que la realidad que representa debe ser dinámica y evolutiva.

Los mapas deben expresar como una unidad la localización, la distribución y las interrelaciones causales de los fenómenos (sucesos), incluyendo a la duración (dimensión temporal).

Por otra parte, es posible desarrollar la cartografía histórica para el estudio espacio-temporal de las transformaciones del territorio por medio de una sucesión de mapas, por ejemplo, durante la época pre-hispánica; el desarrollo de las expediciones, la exploración y ocupación previas a la colonia; la configuración territorial de la Nueva España; la pérdida de vastos territorios en la guerra con los Estados Unidos; la situación actual, etc. Analizando los cambios en los límites, los recorridos, las localizaciones, las áreas, y así sucesivamente.

a) Para el desarrollo de importantes documentos de apoyo a la cartografía, como las fotografías por exposiciones múltiples o imágenes estroboscópicas (estroboscopia: método de observación óptica de los fenómenos para examinar detalladamente sus etapas o fases), que tienen una amplia utilización en física, de hecho un mosaico fotográfico aéreo es similar a estas imágenes, sólo que a lo largo de una línea de vuelo, en tanto que aquellas estudian por etapas el movimiento de un cuerpo a través del tiempo (figura N° 25). Otro recurso sería el uso de imágenes sucesivas superpuestas, que ilustran como cambia el espacio a través del tiempo en una escala determinada.

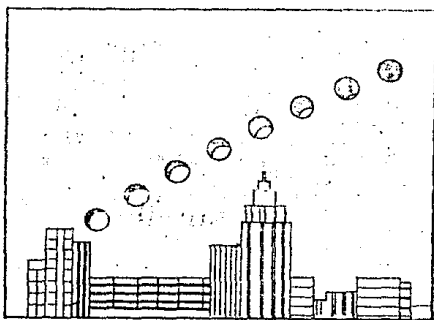


FIGURA N° 25. Fotografía por exposición múltiple, donde se observa que la luna es eclipsada por la tierra y se captan las fases o etapas del proceso como una sucesión.

e) Para el uso sistematizado de los documentos cartográficos de acuerdo a la perspectiva (relatividad del punto de vista), es posible explotar la utilización de imágenes espaciales (verticales, horizontales así como oblicuas) y temporales (transversales y longitudinales) con la posibilidad de desarrollar estudios retrospectivos, prospectivos y actuales. En general, hasta ahora han tenido una aplicación amplia las investigaciones en un lugar y un momento determinados. Esto sucede en gran medida debido a que la llamada nueva geografía, parte de la crítica al uso casi exclusivo de la geometría plana, así se puede hacer extensivo al estudio de la geometría esférica, o sea a escala en que la curvatura de la tierra ya es significativa. La reidentificación con un estudio profundo de la geometría en la geografía es un problema inaplazable.

Por último, la utilización de sistemas de referencia espacio-temporales es imprescindible para el futuro desarrollo de la geografía, tal como lo han hecho Hagerstrand, Harvey y otros, aplicando tales sistemas al estudio sobre como la gente utiliza el espacio y el tiempo durante sus actividades, (figura N° 21).

Ya Hartshorne advirtió la importancia de la combinación de los elementos histórico y geográfico: "Es posible que una aproximación a semejante combinación pueda realizarse en geografía a través del método de proyección de sucesivas imágenes de geografía histórica de un mismo lugar. Un intento de desarrollar una imagen en movimiento produciría una variación continua tanto en el tiempo como en el espacio que reflejaría, en efecto, la realidad en toda su complejidad, pero parece estar por encima de nuestra capacidad incluso de visualizar y, a buen seguro, de interpretar."¹³¹

Por otra parte, en el comentario introductorio que hace Horacio Capel al estudio del excepcionalismo en geografía de Fred Schaefer, incide sobre la relevancia de la consideración de la dimensión temporal: "Lo que constituye la peculiaridad de la geografía es que las leyes que le interesan, además de hacer referencia a la organización espacial, son esencialmente de tipo morfológico. 'Las leyes estrictamente geográficas no tienen referencia al tiempo y al cambio', dice Schaefer.

¹³¹GOMEZ, Josefina, et. al. El pensamiento geográfico. Alenza editorial. 1982, p. 359.

El análisis de los procesos que conducen a la situación presente cae fuera del campo de la geografía, y para investigar estos el geógrafo debe contar con la cooperación de otros científicos sociales. Más adelante, sin embargo, el mismo Schaefer se ve obligado a matizar esta grave afirmación cuando acepta la preocupación por las leyes de procesos dentro del campo geográfico.¹³² Por último, Capel incluye una nota indicandole que otros autores no han seguido al pensamiento de Schaefer al respecto, los cuales consideran (Harvey, Hagget, Chorley) el análisis de los procesos como esencial en la investigación geográfica.

Fernand Joly, al estudiar la variabilidad permanente del espacio geográfico, afirma que, lo que en una escala puede parecer estático, en otra será dinámico (ver figura N° 22). "El análisis geográfico debe tener constantemente en cuenta esta relatividad; y en consecuencia, la cartografía debe dar expresión a sus matices."¹³³ Concluyendo que es importante la elaboración de mapas estáticos y mapas dinámicos donde la inclusión de la dimensión temporal resulta ineludible.

Un ejemplo más sobre la importancia del estudio temporal de la estructura y la dinámica del espacio geográfico se puede ver en la amplia utilización de gráficas espacio-temporales en meteorología.

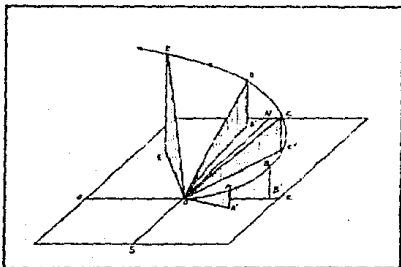


FIGURA N° 26. Cálculo gráfico de la trayectoria de un globo sonda en un continuo espacio-temporal de cuatro dimensiones. (A,B,C,D,E) constituyen las etapas sucesivas en su desplazamiento.

¹³² SCARPER, Fred. Excepcionalismo en geografía. Universidad de Barcelona. 1974, p. 18.

¹³³ JOLY, Fernand. La cartografía. Ariel. 1979, p. 42.

6.4. ENTREVISTAS.

Antes de pasar a las conclusiones generales de este trabajo, es importante señalar que, debido a sus mismas características ha sido necesario entrevistar a algunas personas con experiencia respecto al tema aquí tratado, con la intención de conocer sus puntos de vista y poder valorar los resultados de esta investigación teórica.

La guía de entrevista se desglosó para ser aplicada específicamente a cada uno de los entrevistados en la observancia de los objetivos centrales inicialmente planteados, con el siguiente orden:

a) Personas entrevistadas:

- I. Camilo Cisneros Torres (físico, matemático y filósofo).
- II. Jorge Flores Valdés (doctor en física).
- III. Rodolfo Sánchez Torres (matemático).
- IV. Roberto Arteaga (filósofo).
- V. Martha Cervantes Ramirez (doctora en geografía).
- VI. V. Manuel Martínez Luna (maestro en geografía).
- VII. Jorge Cervantes Borja (doctor en geografía).
- VIII. Ramón Lucero (licenciado en geografía).

b) Preguntas aplicadas:

- 1.- Es posible aplicar principios de las ciencias naturales en las ciencias sociales?
- 2.- Que es la teoría de la relatividad?
- 3.- Cuales son las principales consecuencias filosóficas de esta teoría?
- 4.- Que diferencia existe entre la teoría de la relatividad y el relativismo filosófico?
- 5.- Que es la geografía?
- 6.- Cual es el objeto de estudio de la geografía?
- 7.- Cuales son los principios geográficos?
- 8.- Es posible aplicar la teoría de la relatividad en geografía?
- 9.- Es posible aplicar el continuo espacio-tiempo en geografía?

A continuación se describen las entrevistas aplicadas a cada persona:

I.

2.- La teoría de la relatividad es la disciplina físico-matemática que estudia fenómenos del universo como la luz, la velocidad, los campos magnéticos, electricidad, gravitación, movimiento, espacio, tiempo, etc.

3.- Las principales consecuencias filosóficas de la teoría de la

relatividad son: encontrar la armonía del universo, en la naturaleza y la humanidad. Einstein se lanzó a la búsqueda de la armonía del cosmos.

8.- Si es posible aplicar la teoría de la relatividad en la geografía, ya que las leyes sociales pueden seguir el método y los principios de las naturales para perfeccionar la sociedad, entonces sí es aplicable.

El hombre es racional y busca la armonía, la verdad y el progreso.

9.- Si es posible su aplicación a la geografía, porque el tiempo es la cuarta dimensión, que complementa a las tres dimensiones espaciales.

II.

1.- Si es posible aplicar los principios de las ciencias naturales en las ciencias sociales, pero es también riesgoso, debe hacerse mediante un sistema bien establecido, por ejemplo, en física hay marcos generales ampliamente aplicables, como la mecánica cuántica y la mecánica clásica, hay que emplear fundamentos sólidos para establecer tal aplicación.

2.- La teoría de la relatividad está basada en dos principios:

a) Principio de relatividad.

b) Principio de la constancia de la velocidad de la luz, esta invariante es el punto de partida. Enlaza espacio y tiempo. Cuando la velocidad es mucho menor que esta constante, se entra al campo de la mecánica de Newton.

3.- La naturaleza no tiene sistemas de referencia absolutos, no tiene como escenario al espacio y al tiempo por separado, ya que el continuo espacio-tiempo aparecen unidos en la realidad.

8.- La teoría de la relatividad no es aplicable en geografía, ya que son dos sistemas diferentes, la geografía es la ciencia de la descripción de la tierra, y en la tierra no se dan velocidades tales como las que maneja la teoría de la relatividad. En la teoría de la relatividad se hace referencia a enormes distancias y velocidades, en la tierra sólo las partículas elementales (atómicas) pueden desarrollarse. Pero lo que sucede es que a escala terrestre no son perceptibles los cambios relativistas, aunque sí existen.

9.- No es posible aplicar en geografía el continuo espacio-tiempo, ya que a nivel terrestre no son perceptibles tanto la dilatación del tiempo como la contracción del espacio, solamente a grandes distancias y a velocidades cercanas a la de la luz.

III.

1.- Si es posible aplicar los principios de las ciencias naturales a las

ciencias sociales, ya que todas están relacionadas, hoy más que nunca el conocimiento tiende a conjuntarse.

2.- La teoría de la relatividad es una teoría del movimiento, el cual no es absoluto sino relativo, implica el carácter relativo de distancias (espacio), duración (tiempo) y materia.

3.- Las principales consecuencias filosóficas de la teoría de la relatividad son: consiguera la unión conceptual y matemática entre espacio y tiempo.

8.- Si es posible aplicar la relatividad en la geografía, porque la geografía se divide en geografía física y humana. Estudia las interrelaciones de los factores físicos y las actividades humanas. Todas las ciencias se interrelacionan. Los factores físicos afectan mucho a las actividades humanas; un avance científico tiene siempre impacto en las relaciones sociales, políticas y económicas.

9.- Si es posible aplicar el continuo espacio-tiempo en geografía, desde el momento que está demostrado que espacio y tiempo están unidos en la realidad por la naturaleza.

IV.

1.- Si es posible aplicar principios de las ciencias naturales en las ciencias sociales, de hecho las ciencias sociales trabajan con varios protocolos de las ciencias naturales. No nos podemos ceñir totalmente a los criterios de las ciencias naturales en el estudio del hombre y la sociedad, hay que definir criterios de univocidad entre fenómenos sociales y leyes naturales.

2.- La teoría de la relatividad es una teoría física que rompe con la estructura del sujeto kantiano, que era el sentido común, había un espacio, un tiempo y un universo en sentido absoluto. No hay un sistema de referencia único y se acepta la cognoscibilidad del universo y sostiene el ideal de la búsqueda de la perfección por parte del hombre.

3.- Las consecuencias filosóficas de esta teoría son: el replanteamiento epistemológico de la ciencia; se da un carácter relativo a las categorías fundamentales como el espacio, el tiempo, la materia; relativiza la relación dinámica sujeto-objeto y el concepto de verdad de acuerdo al punto de vista del observador.

La realidad sería entonces, un plexo de referencias múltiple, esto es, con una multiplicidad de factores. No existen los fenómenos aislados e independientes en un sentido absoluto.

4.- La diferencia entre la teoría de la relatividad y el relativismo filosófico consiste en que abarcan campos teóricos diferentes, sus objetos de conocimiento, sus relaciones epistemológicas son diferentes. Pero se puedan identificar por la negación de la cosa en sí, aunque la teoría de la relatividad sostiene rigurosamente sus principios.

5.- Si se puede aplicar ya que las ciencias tienden a unificarse, con fundamento básicamente, en el análisis matemático, las categorías del mundo físico existen para todas las ciencias, son comunes a ellas.

6.- El continuo espacio-tiempo es aplicable en geografía porque la realidad y sus categorías existen, espacio y tiempo son comunes a todos los fenómenos de la realidad.

V.

1.- Si es posible aplicar los principios de las ciencias naturales a las ciencias sociales, pero con muchas limitaciones, se puedan adaptar leyes y teorías, aunque no siempre. En las ciencias naturales sí hay control sobre las variables, en las ciencias sociales no lo hay.

2.- La teoría de la relatividad se refiere a que todos los fenómenos son manifestaciones de la energía. Nada es unidireccional, todo puede tener salidas colaterales, todo es relativo, y los fenómenos geográficos son dinámicos, mutables, nada es estático.

3.- La geografía es el estudio e interpretación de hechos y fenómenos sobre la superficie terrestre.

4.- El objeto de estudio de la geografía es el hombre como ser social, que se desenvuelve en un espacio físico, en un ambiente determinado. Las relaciones que mantiene el hombre con dicho ambiente se producen a través de múltiples factores.

5.- Los principios geográficos - eminentemente geográficos- son: espacio, tiempo y el hombre. Hay otros principios que no son exclusivos de la geografía (localización, distribución e interrelaciones causales). La geografía se auxilia de conocimientos variados, del traslape de unas ciencias con otras, las que son auxiliares, no enemigas.

6.- Si se puede aplicar la teoría de la relatividad a la geografía, por ejemplo, la oportunidad de uso de un recurso natural es muy relativa, hay que establecer una jerarquización de recursos, esto depende tanto de factores sociales como físicos. El estudio del tiempo es fundamental ya que un recurso puede tener un valor variable dependiendo del paso del tiempo.

9.- Si es posible aplicar el continuo espacio-tiempo en geografía, siempre y cuando sea demostrable y sea posible establecerlo. En un entendimiento dinámico y evolutivo del universo, los fenómenos están sujetos a evolución, sucesión, tendencias progresivas y regresivas, como la dinámica del paisaje. En biogeografía ya se manejan implícitamente estas nociones como tendencias a través del tiempo.

VI.

1.- Es posible aplicar principios de las ciencias naturales en el campo de las ciencias sociales, pero con reservas, ya que las ciencias como la física trabajan con leyes no sujetas a caprichos humanos, mientras que las ciencias sociales si consideran el factor humano; en ciencias naturales interviene la probabilidad y en ciencias sociales la posibilidad.

2.- La teoría de la relatividad es una teoría que se refiere a los movimientos en el espacio buscando un marco de referencia, cómo se pueden estudiar los fenómenos en un sistema de referencia. Las categorías fundamentales (espacio, tiempo, materia, energía y movimiento) son relativas. En esta teoría se describen los movimientos (relatividad del espacio y el tiempo) de acuerdo a la velocidad.

5.- La geografía es una rama de la ciencia que tiene por objeto estudiar la ubicación de distintos hechos y fenómenos, además de entender las causas de tal ubicación, que magnitud tienen y sus correlaciones. Además la noción de extensión.

6.- El objeto de estudio de la geografía: estudia aspectos espaciales para conocerlos en su naturaleza y aplicarlos. Para conservar los elementos y el equilibrio del espacio, para estudiar las bases de su manejo, ordenación y uso en beneficio de la sociedad. Para el análisis e interpretación de los fenómenos espaciales.

7.- Los principios de la geografía son: de acuerdo a la definición clásica: localización, distribución, interrelaciones causales (porqué, para qué, cuándo y cómo), estos se llaman principios generales. Pero también hay principios particulares, aplicables a cada campo específico. Por ejemplo, los principios aplicables a estudios regionales, no todos los lugares son diferentes, también se pueden sistematizar con un nivel de aproximación. Los principios son realmente aproximaciones paulatinas.

8.- Si es factible aplicar los aspectos relativistas en geografía, pero dentro de cierto límite. Es totalmente necesario establecer los límites, la escala, el punto de vista de aplicación. En geografía se puede partir de los mapas, el área y la escala (manejo del espacio). Se debe sistematizar la velocidad de cambio de los fenómenos de acuerdo a sus dimensiones, la escala es relativa. El mapa es un medio de representación espacial. Un mapa es un elemento estático y se refiere a un lugar y a un momento determinado.

9.- Es posible aplicar el continuo espacio-tiempo en geografía, ya que el tiempo es relativo, de acuerdo a sus orden de fenómenos hay una escala propia de estudio. En geografía física. Los cambios son lentos con respecto a los cambios sociales, cada campo requiere el uso de escalas diferentes. Espacio y tiempo están unidos en la evolución.

VII.

1.- Si se pueden aplicar los principios de las ciencias naturales a las ciencias sociales, ya que las ciencias se interrelacionan, pero hay que tener cuidado de no introducir errores.

2.- La teoría de la relatividad es una forma de conceptualizar el mundo (universo), estudia las relaciones entre la materia y la energía, la dinámica del movimiento de la materia, los cambios y sus transformaciones en el espacio y en el tiempo.

3.- La geografía es la ciencia que describe y explica la estructura y evolución del paisaje geográfico, entendido este como la esfera de acción del hombre con la naturaleza. Toda evolución es dinámica, pero no toda dinámica es evolutiva.

4.- El objeto de estudio de la geografía es la estructura y evolución del paisaje como manifestación de la dinámica espacial. El sistema de relaciones entre el hombre y la naturaleza.

5.- Los principios geográficos derivan de dos tipos: Los clásicos que derivan de los principios generales de las ciencias sociales y las naturales. Los principios propios de la geografía (los más comunes) son: causalidad, síntesis, localización, extensión, etc.

6.- La teoría de la relatividad en sí, no es aplicable a la geografía, sólo es aplicable el enfoque de las ideas (los conceptos); las mismas variables (tiempo, materia, energía, espacio) se usan en el nivel del conocimiento geográfico.

9.- Si es posible aplicar el continuo espacio-tiempo en geografía, ya que son categorías generales del conocimiento. Espacio-tiempo son un concepto fundamental para el conocimiento geográfico. No a todos los autores les interesa la relación espacio-tiempo.

VIII.

1.- Si es posible aplicar los principios de las ciencias naturales en las ciencias sociales, ya que el conocimiento científico constituye una unidad lógica y articulada.

2.- La teoría de la relatividad es una teoría que afirma que los fenómenos no se pueden estudiar en términos de datos absolutos, evoluciona el universo y debe evolucionar el pensamiento. El estudio de la realidad depende del marco de referencia del que observa. Es fundamental la relatividad de la posición de los objetos afectados por la posición de otros objetos o fenómenos. La relatividad de la posición observada de un cuerpo incluye la relatividad del espacio y del tiempo.

3.- La geografía es una ciencia dinámica que se refiere al entendimiento de los fenómenos en el espacio geográfico, estudia la descripción de tales elementos, sus transformaciones, explica su funcionalidad, sus interrelaciones, su diferenciación, su caracterización, así como el establecimiento de categorías de fenómenos y los sistematiza.

4.- El objeto de estudio de la geografía es el espacio geográfico, el cual constituye un conjunto con diversos niveles de interacción.

5.- Los principios geográficos: se les puede llamar clásicos a los consagrados por Ritter, Humboldt, Vidal, y son: localización, relación, extensión, causalidad, comparación y evolución. Estos principios se complementan en todas las etapas de la investigación geográfica.

6.- La aplicación de la teoría de la relatividad en geografía no puede ser inmediata, hay que manejar una gran cantidad de conocimientos, la extrapolación de conocimientos de una ciencia a otra debe ser progresiva y rigurosamente controlada. El lenguaje matemático puede ser la vía para la unificación del conocimiento, al mismo tiempo es necesario fortalecer los estudios teóricos. Cada ciencia debe tener su identidad.

7.- Es probable aplicar el continuo espacio-temporal en geografía, pero es necesario establecer rigurosamente el mecanicismo, el sistema de referencias teóricas y conceptual para desarrollarlo. Lo que sí es cierto es que todo evoluciona a través del tiempo y en el espacio.

CONCLUSIONES

- a) El concepto de relatividad es muy amplio, y por lo mismo debe ser manejado con mucho cuidado, con un nivel de conocimientos adecuado a su misma generalidad para poderle aprender íntegramente. En el intento de delimitar lo que es la teoría de la relatividad y al describirla, se detectó que en la realidad existen varios tipos, lo cual es muy importante si se le va a aplicar en el futuro en la geografía para sistematizar su información. Los tipos de relatividad son: física (de las leyes naturales y del punto de vista del observador), psicológica y fisiológica. Ya que la geografía estudia las relaciones entre el hombre y el entorno, se han de tener en cuenta estos tipos de relatividad, y no solamente la física.
- b) La teoría de la relatividad a diferencia del relativismo filosófico, se basa en el ideal de la física de que es posible la formulación de leyes generales de la naturaleza, y de que se puede conocer la armonía y el orden que subyace a los fenómenos naturales. El relativismo filosófico sostiene que no se puede conocer la verdad absoluta, sino la verdad relativa, toda verdad está condicionada natural y socialmente, y no se puede llegar a la formulación de leyes y principios generales.
- c) La teoría de la relatividad se divide en especial y general; debido a que, los fenómenos que envuelve la teoría de la relatividad especial pueden ser representados en un sistema de referencia galileano (basado en las coordenadas cartesianas), es posible su aplicación en la geografía, por otra parte, los fenómenos a que hace referencia tal teoría son fenómenos de la realidad y reducibles a una abstracción geográfica (esencial a nivel terrestre). La teoría de la relatividad general ya no es aplicable en geografía, porque introduce los efectos de dilatación del tiempo y de contracción del espacio que pueden existir a todos los niveles, no son perceptibles a escala terrestre cuando las velocidades son cercanas a la de la luz, y se basa en un sistema no galileano.
- d) Algunos autores como Bertrand Russell, han tratado el asunto de la ubicación de la geografía en la ciencia, otros como Harvey, Dollfus, Hagerstrand, Jolie, Berry, etc., han considerado la posibilidad de un

entendimiento relativo del espacio geográfico, haciendo énfasis en el estudio de las leyes de los procesos junto con las leyes morfológicas, esto es, la inclusión de la dimensión temporal.

e) El concepto de espacio-tiempo ya es manejado en la actualidad por algunos autores en geografía, ahora resulta evidente que los fenómenos (sucesos) espaciales, evolucionan también temporalmente. Espacio, tiempo, materia, energía y movimiento son las categorías fundamentales del mundo físico, y ninguna de ellas es absoluta. La existencia de los fenómenos, más que estar en el espacio a través del tiempo, es una existencia espacio-temporal enlazada por el movimiento.

En geografía, ya se han elaborado escalas espacio-temporales con el fin de sistematizar los fenómenos de acuerdo a la relatividad de la escala, en el entendimiento de que, a cada escala son inteligibles formas y movimientos diferentes de una misma realidad.

f) En geografía se deben tener en cuenta todos los tipos de relatividad, esta es una importante consecuencia de este trabajo debido a que, en un principio sólo se planteó delimitar y describir a la teoría de la relatividad para estudiar la medida en que puede ser aplicable en geografía; los tipos de relatividad se pueden utilizar para sistematizar la información, pero se requirieron conocimientos básicos de los métodos de la psicología, la filosofía y la fisiología.

g) Una de las bases de la teoría de la relatividad es la demostración de que la geometría euclidiana (plana) no es universalmente válida, sino, sólo dentro de los límites de las áreas reducidas de la tierra, donde los efectos de la curvatura de la tierra son insignificantes, a escala de los fenómenos terrestres (considerando que la tierra tiene una forma semiesférica) ya no se cumple la geometría de Euclides y se entra al campo de la geometría esférica.

h) La teoría de la relatividad posee una gran riqueza conceptual, por lo que es posible darle una amplia aplicación a muy diversos ámbitos del conocimiento, pero teniendo en cuenta que se refiere a las leyes naturales en sí mismas, sin la influencia del hombre. La geografía estudia la expresión concreta de tales leyes, que se vinculan con las sociales en la realidad, e incluyendo a las actividades humanas.

En resumen: la geografía estudia las localizaciones, las distribuciones y las interrelaciones causales de los fenómenos espacio-temporales en la superficie terrestre.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

a) BASICAS:

- BARNETT, Lincoln. El universo y el doctor Einstein. Fondo de cultura económica, México. 1985.
- CAPEL, Horacio. Filosofía y ciencia en la geografía contemporánea. Barcanova, España. 1981.
- CAPEL, Horacio, UNTEAGA, Luis. Las nuevas geografías. Salvat, México. 1982.
- CLAVAL, Paul. La nueva geografía. Oikos-tau, España. 1979.
- CHORLEY, Richard. Nuevas tendencias en geografía. Instituto de estudios en administración local, España. 1979.
- DAVIES, P. J. D. El espacio y el tiempo en el universo contemporáneo. Fondo de cultura económica, México. 1982.
- DOLLEFUS, Olivier. El análisis geográfico. Oikos-tau, España. 1978.
- DOLLEFUS, Olivier. El espacio geográfico. Oikos-tau, España. 1976.
- EINSTEIN, Albert. La relatividad. Grijalbo, México. 1986.
- GEORGE, Pierre. Los métodos de la geografía. Oikos-tau, España. 1973.
- COMEZ, Josefina, et. al. El renacimiento geográfico. Alianza editorial, España. 1932.
- GORTARI, Eli de. Dialéctica de la física. Océano, México. 1986.
- HARVEY, David. Teorías leyes y modelos en geografía. Alianza editorial, España. 1983.
- JOIY, Fernand. La cartografía. Ariel, España. 1979.
- RUSSELL, Bertranc. ABC de la relatividad. Ariel, España. 1970.
- RUSSELL, Bertranc. La perspectiva científica. Ariel, España. 1969.
- SCHAEFER, Fred. Excepcionalismo en geografía. Universidad de Barcelona, España. 1974.
- WOOLDRIDGE, S.W., GORMON, W. Significado y propósito de la geografía. Nova, Argentina. 1957.

b) COMPLEMENTARIAS:

- BROOK, Jan. Geografía: su fincito y su trascendencia. UTETA, México. 1967.
- BERTALANFFY, Ludvig. Teoría general de los sistemas. Fondo de cultura económica, México. 1987.
- ENGELS, Federico. Dialéctica de la naturaleza. Grijalbo, México. 1982.
- GAMOW, George. Biografía de la física. Alianza editorial, España. 1980.
- GAMOW, George. Uno, dos, tres... infinito. Espasa-calpe, España. 1969.
- HESSEN, Johan. Teoría del conocimiento. Editores mexicanos unidos, México. 1985.

- KUHN, Thomas. La estructura de las revoluciones científicas. Fondo de cultura económica, México. 1985.
- LANDAU, L. RUMMER, Y. ¿Que es la teoría de la relatividad? Quinto sol, México. 1980.
- MARGALEF, Ramón. Ecología. Omega, España. 1982.
- MASON, Stephen. Historia de las ciencias. Tomo V. (La ciencia en el siglo XX). Alianza editorial, España. 1986.
- MELIUSIN, S. et. al. Problemas filosóficos de la física contemporánea. Grijalbo, México. 1969.
- PUIGDOMENECH, Pedro. Los caminos de la física. Salvat, España. 1986.
- SPIRKIN, A.G. Materialismo dialéctico y lógica dialéctica. Grijalbo, México. 1969.
- STRAHLER, Arthur. Geografía física. Omega, España. 1984.
- STRUVE, Otto. El universo. Fondo de cultura económica, México. 1975.
- STOLLBERG, R. HILL, P. Física, fundamentos y fronteras. Publicaciones cultural, México. 1970.
- WALTER, Marshall. El pensamiento científico. Grijalbo, México. 1968.

REFERENCIAS HEMEROGRAFICAS

- BRUNET, Roger. "Composition des moules en analyse spatiale". En: L' espace géographique. Tomo X, N° 4; pp. 253-265. París, Francia. 1987.
- FUSTIER, Bernard. "Note sur la précision et l' imprécision du comportement spatial." Tomo XVI, N° 1; pp. 51-58. En: L' espace géographique. París, Francia. 1987.
- GOMEZ, Alberto. "La geografía humana: de ciencia de los lugares a ciencia social." En: Geocrítica. N° 48 (nov. 1983), 51 p. España.
- PIVETEAU, Jean-Luc. "Identifier et relativiser les territoires" En: L' espace géographique. Tomo 14, N° 1; pp. 265-271. París, Francia. 1985.
- SANTOS, Milton. "Espacio y método." En: Geocrítica. Universidad de Barcelona, España. N° 65 (sept. 1986). 57 p.
- CHACON, Ricardo. "Aplicación de ciencias exactas en el estudio de la geografía." Cuadernos de filosofía y letras. UNAM, México. 1985. pp.41-70.
- SAENZ, Carlos. "La relatividad, un problema geográfico." En: Anuario de geografía. UNAM, México. 1980. pp. 211-217.

KUHN, Thomas. La estructura de las revoluciones científicas. Fondo de cultura económica, México. 1985.

LANDAU, L. RUMMER, Y. ¿Que es la teoría de la relatividad? Quinto sol, México. 1980.

MARGALEF, Ramón. Ecología. Omega, España. 1982.

MASON, Stephen. Historia de las ciencias. Tomo V. (La ciencia en el siglo XX). Alianza editorial, España. 1986.

MELIJJIN, S. et. al. Problemas filosóficos de la física contemporánea. Grijalbo, México. 1969.

PUIGDOMENECH, Pedro. Los caminos de la física. Salvat, España. 1986.

SPIRKIN, A.G. Materialismo dialéctico y lógica dialéctica. Grijalbo, México. 1969.

STRAHLER, Arthur. Geografía física. Omega, España. 1964.

STRUVE, Otto. El universo. Fondo de cultura económica, México. 1975.

STOLBERG, R. HILL, F. Física, fundamentos y fronteras. Publicaciones cultural, México. 1970.

WALTER, Marshall. El pensamiento científico. Grijalbo, México. 1968.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRUNET, Roger. "Composition des modules en analyse spatiale". En: L' espace géographique. Tomo X, N° 4; pp. 253-265. París, Francia. 1987.

FUSTIER, Bernard. "Note sur la précision et l' imprécision au comportement spatial." Tomo XVI, N° 1; pp. 51-58. En: L' espace géographique. París, Francia. 1987.

GOMEZ, Alberto. "La geografía humana: de ciencia de los lugares a ciencia social." En: Geocrítica. N° 43 (nov. 1983), 51 p. España.

PIVETEAU, Jean-Luc. "Identifier et relativiser les territoires" En: L' espace géographique. Tomo 14, N° 1; pp. 265-271. París, Francia. 1985.

SANTOS, Milton. "Espacio y método." En: Geocrítica. Universidad de Barcelona, España. N° 65 (sept. 1986). 57 p.

CHACCN, Ricardo. "Aplicación de ciencias exactas en el estudio de la geografía." Cuadernos de filosofía y letras. UNAM, México. 1985. pp. 41-70.

SAENZ, Carlos. "La relatividad, un problema geográfico." En: Anuario de geografía. UNAM, México. 1980. pp. 211-217.

FRANCISCO DE ASÍS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA