

EL OBSERVADOR: UNA VISION INTERDISCIPLINARIA¹

John Earls

Introducción

Voy a tratar de esbozar una posible base para una compatibilización metodológica y epistemológica entre las llamadas ciencias sociales y las ciencias naturales. En vez de buscar esta compatibilización a través de una "gran tour" de las ciencias en general -- que es más bien una tarea que incumbe a los filósofos de la ciencia, y sobre la cual existe un enorme cuerpo de literatura que ni voy a citar aquí -- voy a restringirme a dos estudios casos que son representativas de cada uno de las dos tradiciones científicas. De las ciencias naturales, y específicamente de la física voy a tomar el caso de la Teoría de la Relatividad, que junto a la mecánica cuántica, constituye uno de los pilares más sólidos de toda nuestra comprensión científica del universo. De las ciencias sociales voy a limitarme a unas sugerencias tentativas. En particular quiero avalarme de la comprensión del concepto de **observador**, que constituye la piedra de toque en la relatividad con el fin de dar cuenta de un conjunto de problemas que van obstaculizando nuestros esfuerzos en la comprensión de lo social. Espero poder indicar unas analogías definitivamente ultrajantes pero fascinantes con respecto al observador, la observada y la comunicación entre el universo de la relatividad y el universo social ².

En particular, esta ponencia trata de retomar un hilo de pensamiento que me preocupaba en mi época de estudiante graduado en la Universidad de Illinois (1968-1972) pero que eludía formular satisfactoriamente. Creo que hay una analogía no trivial entre la noción del sistema de referencia inercial de la teoría de la relatividad y la visión de su entorno "construido" por un observador orgánico (o electrónico) "vivo", incluyendo los observadores humanos. También creo que el principio de la relatividad puede aplicarse a los sistemas de referencia humanos, de modo que una comprensión de un sistema social humano puede lograrse en términos de una articulación relativista de los sistemas locales que lo constituyen. Finalmente creo, y eso es un gran "creer", que el "movimiento" en sistemas sociales siempre concebido en términos de "fuerzas" de un tipo u otro, debe deshacerse de estas fuerzas tal como la relatividad deshizo "la fuerza de la gravedad".

En este trabajo no he logrado un avance significativo en la exploración de esta analogía, pues resultó necesario, en primer lugar, hacer una revisión del concepto del observador en la relatividad, y me asombraron los paradojas inherentes a ella al no tomarse en serio este asunto del "observador" y sus propiedades. A menudo la relatividad se emplea como un recetario para el cálculo de un sinnúmero de fenómenos físicos y sólo una minoría de los físicos se enfrentan a la interpretación de estos cálculos.

¹ Este artículo originó en una ponencia a la Academia Nacional de Ciencias y Tecnología que fue publicado en ACTAS de las sesiones de Avances de Investigación, T.1, N° 4, marzo 1994.

² En un trabajo anterior (1973) demostré matemáticamente como la estructura del espaciotiempo en la relatividad guarda una similitud topológica con el cosmos en el pensamiento andino cuando este se invierte por transformaciones estándares en un espaciotiempo de carácter hiperbólico-paraboloide. Pude comprobar la invariancia de los intervalos tiempos entre personas de diferentes sistemas de referencia temporales. En el mismo trabajo empleé las leyes de sistemas autoorganizativos presentadas por Heinz von Foerster (ed. español 1991) para plantear las relaciones entre la expansión del radio del espaciotiempo y la densidad numérica de la materia del universo tal que éste se comporta como un sistema autoorganizativo. Véase también (Earls y Silverblatt 1978 y 1981)

Finalmente, pido disculpas de la forma bastante desordenada en que se desarrollan mis argumentos pero espero que una discusión de ellas me pueda seguir en este afán.

Ciencia y el tratamiento de paradojas

De acuerdo al paradigma de la racionalidad científica clásica o moderna, la identificación de una paradoja en la representación o descripción formal de una teoría científica, en un modelo explicativo de un fenómeno, o en la realización o interpretación de un experimento, es razón suficiente para el rechazo del intento científico. Igual peso o importancia tiene en la ciencia la reproducibilidad de los resultados de un experimento obtenidos por un científico por parte de otros científicos que realizan el mismo experimento u otro experimento equivalente: cuando del mismo experimento al repetirse se obtiene resultados incompatibles con los que se reclama en el experimento inicial, se rechazan los resultados de éste. Una mayor investigación del tema puede encontrar que el experimento fue mal diseñado (con respecto a la elección de instrumentos, de controles, etc.) o que la teoría, modelo o hipótesis que se trató de comprobar no fue internamente consistente. Dichas inconsistencias lógicas pueden revelarse como paradojas.

Se sostiene que estas dos condiciones conforman el modelo de la explicación científica en todas las ciencias. A grandes rasgos se puede referir a este enfoque sobre la ciencia bajo el rúbrico del positivismo lógico.

Pero, tal como han demostrado tajantemente muchos estudiosos de la historia de la ciencia (véase especialmente a Thomas Kuhn), la ciencia, o mejor dicho la comunidad científica, en algunas configuraciones socio históricas suele mostrarse más tolerante de paradojas dentro de su estructura lógico-epistemológica que la es en otras coyunturas y períodos. No me incumbe aquí recontar las muchas circunstancias en las cuales la ciencia se ha mostrado complaciente frente a redes de paradojas que han permeado el pensamiento y la actividad científica. Sólo me limito opinar que la ciencia como un sistema socio-simbólico complejo tiene sus propios límites de tolerancia para los valores de los variables que constituyen sus variables esenciales (Ashby 1964; 1965). En este sentido, y siguiendo el argumento cibernético de Ashby, el "sistema científico" efectuaría un "cambio de parámetros" que daría lugar a una nueva estabilidad para el sistema.

No obstante, lo que me extraña en la actualidad es la persistencia de paradojas relativamente antiguas en la ciencia actual (que ya se reconocieron en las primeras decenas de este siglo) y la acumulación de nuevas. Hay que tener en cuenta, además, que por estos tiempos experimentamos una expansión del quehacer científico sin paralelo aún en este siglo.

Las paradojas y la actividad cognitiva humana

En primer lugar se debe examinar un poco más cuidadosamente la palabra "paradoja". Los diccionarios no son de gran ayuda pero sí son los almacenes de la semántica, y guían y orientan el manejo de las palabras que usamos. Puesto que tengo a la mano el dic-

cionario más representativo del inglés norteamericano ³, es ilustrativa traducir su entrada para esta palabra:

"par-a-dox. n. [Fr. *paradoxe*; L. *paradoxum*; Gr. *paradoxon*, neut. of *paradoxos*, paradoxical *para-*, beyond + *doxa*, opinion *dokien*, to think, suppose], 1. [rare], un enunciado contrario a la creencia común. 2. un enunciado que parece contradictorio, no creible, o absurdo pero que actualmente puede ser verdad en verdad ("true in fact"). 3. un enunciado que es autocontradictorio en verdad y, por ende, falso. 4. a) algo inconsistente con la experiencia común o que tiene calidades contradictorias. b) una persona quien es inconsistente o contradictorio en carácter o en comportamiento."

Lo interesante de estas aceptaciones queda en la confusión asociado con la palabra misma. No se menciona la ciencia pero es el sentido 3) que más se ajustan a la aceptación y rechazo del paradoja en la ciencia y cuya presencia no debe ser tolerada por la comunidad científica. Al contrario, la ciencia se siente en el cresto de su culminación al demostrar por lógica y matemática rigurosa, además de evidencia experimental incontrovertible, que las paradojas tipo 2) son los productos colaterales de las teorías más poderosas y universalmente explicativas. La Teoría de la Relatividad y la de la Mecánica Cuántica epitemizan estas crestas teóricas en la física -- la ciencia más "dura" y sólida de todas.

Sin embargo, como antropólogo tengo que señalar que la mayoría de las culturas del mundo, ya sean "simples" o "primitivas" de acuerdo a nuestro modo occidental de calificarlas, o grandes y complejos sistemas estatales (incluyendo la China, India, los Andes, etc. y Europa) muestran un gran interés en las paradojas de la existencia. En todas se encuentran gente excepcional que buscan y exploran las paradojas que surgen de sus construcciones simbólicas, y que tratan de explicar o manejarlas.

La Relatividad y las paradojas tipo 2)

No voy a sacar una lista de ellas pues la mayoría son ampliamente conocidas. Me limito a mencionar una porque sí conflictiva con toda el sentido común de nuestra experiencia, hasta el parecer absurda. La famosa "paradoja" de los mellizos.

Hay dos mellizos. Uno queda aquí en la Tierra y el otro viaja en un nave espacial que se aleja de la Tierra con una velocidad que se acerca (pero nunca iguala) la velocidad de luz. Luego de unos cuantos años de alejarse en la nave la hace desacelerar, voltearla 180 grados y acelerarla de nuevo para volver a la Tierra con la misma altísima velocidad. El tiempo experimentado y registrado por el mellizo viajero se dilatará relativa al tiempo del no viajero, de modo que mientras el viajero habrá envejecido unos cuantos años, su hermano habrá envejecido mucho más. Quizás ya ni vive; miles de años han pasado en la Tierra y

³"Webster's New World Dictionary of the American Language", 1966, The World Publishing Company, Cleveland and New York. Quizás ya existe también un "World Dictionary of the Australian Language" (y otra de la lengua jamaicana, etc.), pero falto acceso a estos si es que existen.

sólo dos o tres para los viajeros en la nave. El renombrado físico Herbert Dingle resistió ferozmente aceptar la "cientificidad" de esta consecuencia deductiva de la relatividad.

El punto es que la experiencia del tiempo varía de acuerdo a las diferencias en velocidad de los sistemas de referencia inerciales con que están asociados los observadores. El quien experimenta aceleración continua llegará a velocidades cercas a la velocidad de luz, y el quien le observa desde un sistema no acelerada (de velocidad baja) verá que el pase del tiempo casi se detiene para el viajero.

La variabilidad de la experiencia del tiempo para observadores asociados con diferentes sistemas de referencia no tiene nada de paradójica para la Teoría de la Relatividad. Es por eso que es sólo un paradoja del tipo 2 de acuerdo al diccionario.

Paradojas 3)

La paradoja 3. (un enunciado que es autocontradictorio en verdad y, por ende, falso). es la paradoja que recibe el mayor rechazo de la comunidad científica, y con razón. La detección de esta clase de paradoja es crucial para la conservación del poder explicativo, (retrodictivo y predictivo)

Mirando el asunto más de cerca, encontramos problemas con las nociones de "verdad" u "falsa". Estrictamente, estas nociones sólo tienen sentido lógico; una proposición sería verdadera o falsa, y las leyes de la lógica deductiva permitirían establecer entre las dos alternativas. Pero la lógica (incluido aquí la matemática) no se concierne con la veracidad o no de los *hechos*. La veracidad o falsidad de los hechos se establecería a través de la observación experimental. Por eso pues los dos fundamentos de la ciencia clásica, anunciados arriba se interlazan y se complementan, dando lugar a un avance autocorrectivo y continua de la ciencia. Partiendo de hechos, o axiomas sobre hechos supuestamente *objetivos*, se puede emplear la lógica para deducir la existencia de hechos que todavía no han sido observados. No quiero entrar más en esta discusión por la amplia literatura existente, pero sí es de gran importancia a destacar que dentro de esta literatura hay un gran número de trabajos que han cuestionado seriamente los fundamentos de esta paradigma, ⁴ Hay buenos razones ahora para sostener que la existencia de una realidad objetiva única independiente del observador más bien constituye un obsáculo para la explicación científica. Tal como la existencia objetiva de la "fuerza de gravedad" lo era para la física.

Con respecto a la relatividad, es importante resaltar que en la segunda mitad del siglo XIX, la física clásica (origenado en y consistente con la física newtoniana, ya extendida a la teoría de la electricidad y el magnetismo⁵ y la termodinámica) iba acumulando paradojas de clase

⁴En particular se debe señalar el aporte de Humberto Maturana y Francisco Varela (1990: 14) aquí. Ellos señalan cuatro pasos en la explicación científica:

- a. Descripción del o los fenómenos a explicar de una manera aceptable para la comunidad de observadores;
- b. proposición de un sistema conceptual capaz de generar el fenómeno a explicar de una manera aceptable para la comunidad de observadores (hipótesis explicativa);
- c. deducción a partir de b de otros fenómenos no considerados explícitamente en su proposición, así como la descripción de sus condiciones de observación en la comunidad de observadores;
- d. observación de estos otros fenómenos deducidos en b.

⁵Esta teoría, grandamente presentada por Sir James Jeans en "The Mathematical Theory of Electricity and Magnetism" (1966) de una primera edición en 1908 se sujetó a modificaciones cada vez más extensas en las ediciones posteriores para dar cuenta del surgimiento de nuevos desarrollos que cada vez más se hicieron más difíciles a englobar

3 y estableciendo nuevos hechos que falsificaron "hechos" previamente aceptados por la comunidad científica. La relatividad y la mecánica cuántica introdujeron grandes revisiones de las axiomas fundamentales de la ciencia clásica, y de ahí a la estructura lógico-deductiva de esta, de modo que las paradojas tipo 3 mayormente se esfumaron o se convirtieron en paradojas 2. A su vez, se dió lugar a una plétora de nuevas paradojas 2, tal como la de los mellizos que acabamos de mencionar.

[JLL1]El observador en la relatividad

El punto clave es esto. La relatividad introdujo al observador como un concepto básico para la comprensión científica, y de otra perspectiva también lo hizo la mecánica cuántica (donde la introducción del observador ha tenido consecuencias aún más profundas para esta comprensión). Para la ciencia clásica la separación absoluta del observador de lo observado, del sujeto y objeto, de la mente y naturaleza, fue una prerequisite para que una actividad o explicación fuera considerada como científica o no. Es algo ironico que los grietos en este enfoque se devenieron de la física en primer lugar. Además, la explicación lógica-matemática tenía que ser libre de enunciados autoreferenciales (a este punto volveré más adelante). En seguido trataré de explicar brevemente la noción del observador en la relatividad.

Schumacher: el observador y el lenguaje físico

Como ya se ha indicado, desde la publicación de la obra acabada de Einstein sobre la relatividad (específicamente la Relatividad General en 1916), y aún más desde su exitosa predicción de un fenómeno anteriormente nunca sospechado y puesto a prueba empírica por Arthur Eddington en 1919, la teoría ha dado lugar a una rica corriente de replanteamientos sobre las bases del pensamiento y método científico. ⁶

De acuerdo a D.L. Schumacher (1967: 196-7) " La esencia de la relatividad especial es que cualquier observador puede formar comunicaciones con sentido físico en términos de aquella parte de la descripción que es propio a cualquier sistema de referencia. En este sentido de la palabra 'observador' hay una correspondencia una-a-una entre observadores y sistemas de referencia." O sea, la comunicación sólo tiene significación física en cuanto se limita a aquellos valores y conceptos que no dependen en las particularidades de los observadores. La restricción de la comunicación a lo que es general a todos los observadores que corresponden a todos los sistemas de referencia, hace que la relatividad especial sea una regla de comunicación.

dentro de la teoría clásica. En la edición de 1919 se introdujo una primera discusión de la electrodinámica relativista, y en 1925 (la última edición hecho por Jeans) se añadió una discusión del nuevo impacto de la mecánica cuántica.

⁶Quizás entre los numerosos contribuidores a esta nueva visión emergente, valdría la pena de señalar a Hermann Weyl's "Space - Time - Matter"(1952) inicialmente redactado en alemán en 1918 y G.C. McVittie's "General Relativity and Cosmology" (1965). Los dos libros son formulaciones altamente matemáticas del tema y muy respetados dentro de la tradición positivista, empero ambos hacen una fuerte delimitación con la tradición dominante con respecto a la naturaleza de la existencia, del ser y acontecer (Weyl) y sobre la existencia de los datos sensoriales objetivos independiente del observador, y su estructuración por la mente humana (McVittie). Aunque ahora sus planteamientos pueden parecer algo tímidos en la luz de los desarrollos actuales, fueron altamente polémicos en su día. También se debe hacer mención de la obra de David Bohm "The Special Theory of Relativity" (1965), pues incluye un apéndice extensivo "Physics and Perception" (pp. 185-230) en donde él recoge los resultados de las investigaciones de Jean Piaget acerca al establecimiento secuencial de invariantes por parte de los niños crecientes y revela una analogía llamativa entre este proceso y el establecimientos de invariantes en la relatividad.

Debo mencionar que todavía no he leído el "Brief History of Time" of Stephen Hawking, y por eso no puedo tomar en cuenta su posición con respecto a estos temas.

Basicamente Schumacher sostiene que mientras una distinción entre sujeto y objeto es necesario para la coherencia del discurso físico, no se trata de de una "objetividad" en el sentido usual en la ciencia (positivista) sino de una distinción epistemológica basado en el lenguaje y tampoco limitado a la relatividad. Una distinción entre el comunicador y el *contenido* de la comunicación que quiere hacer es necesario para que haya una teoría de la comunicación. A su vez, si el sujeto y el objeto son considerados como totalmente separados, ninguna descripción física jamás puede ocasionarse. En este momento no sería apropiado de seguir con el argumento de Schumacher, por interesante que sea, lo importante es que él demuestra el provecho que ofrece la relatividad en cuanto sea considerado como una teoría de comunicación entre observadores, para llegar a una comprensión más amplia de la irrevocabilidad del tiempo y la evolución biológica.

Los sistemas de referencia y la invariancia

En principio la relatividad (especial) se interesa en las cosas y relaciones que se mantienen invariantes para todos los observadores asociados con todos los sistemas de referencia (véase arriba) y en las covariantes que permiten la traducción de los coordinados asociados con un evento en un sistema de referencia en las coordinados del mismo evento cuando se lo registra en otras sistemas de referencia.

Ya que quiero lograr una comunicación con colegas afuera de la física misma debo detenerme un poco en la noción de sistema de referencia. Tendré que tratar de comunicar la idea en una manera que guarda relevancia para mis propósitos aquí pero aceptando la necesidad de evitar discusión de los muchos aspectos que son vitales para la comprensión adecuada de la relatividad. Felizmente existen muchas buenos libros introductorios y divulgadores sobre la relatividad.

Una manera de acercarse a la noción es de considerar una "porción" del espacio-tiempo que es altamente homogénea y estable en su disposición espacial y que persiste lo suficiente en el tiempo para la realización de ciertas actividades. En esta porción se elabora un sistema de coordinados, tal como en la geometría analítica, tres para las tres dimensiones espaciales x , y , z , y un cuarto t para el tiempo, como una gran retícula. Es el observador quien define asuntos tales como donde se pone el origen de los coordinados (donde $x=y=z=0$, y también dónde o cuándo $t=0$); cómo se va a fijar la distancia entre los nodos de la retícula, en qué unidades (metros, kilómetros, micrones, o qué). Taylor y Wheeler (1966) sugieren visualizarlo como una retícula espacialmente tridimensional con una reloj asociado con cada nodo. Si se calibra los coordinados espaciales en metros se tendrá que calibrar el tiempo que registra los relojes en metros también; cada metro de tiempo equivale al tiempo que demora la luz en recurrir un metro de espacio ($= 1m./c = 3.335640 * 10^{-9}$ seg.). Cada porción del espaciotiempo con su sistema de coordinados y observador asociado con ellos y que mueve con velocidad uniforme constituye su propio sistema de referencia.

Esencialmente el observador es mejor comprendido como un coordinador - coordina los registros de los relojes asociados con cada nodo de la retícula y las coordinados de estos nodos. De esta manera es razonable sostener que la actividad del observador está imbricado en los coordinados mismos; que la noción misma del coordinador (observador) no puede desligarse de un sistema de coordinados. A su vez, la teoría de la relatividad de-

muestra la inexistencia de cualquier sistema de coordenados naturales, privilegiados o absolutos. ¿Tenemos aquí una paradoja?

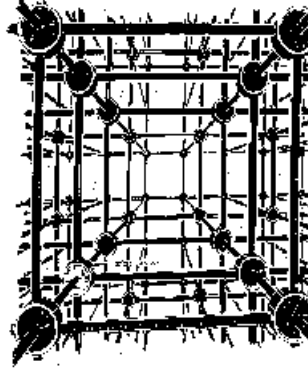


Fig.1.

Sistema de referencia representado como una retícula de tres dimensiones espaciales y con la dimensión tiempo por los relojes ubicados en los nodos. (De Taylor y Wheeler 1967: 14)

En cada sistema de referencia las leyes de la física son los mismos. Los mismos constantes tienen los mismos valores (v.g. $c = \text{vel. de luz} = 2.997925 \cdot 10^8 \text{ m./seg.}$) empero, los valores de los coordenados usados para medir las magnitudes del espacio y del tiempo de algún evento particular variarán de acuerdo a las velocidades relativas de los diferentes sistemas de referencia. Esto es el caso aún cuando los observadores previamente han acordado emplear las mismas unidades, etc. para la configuración de sus respectivos sistemas de coordenados (y a menos que hayan hecho esto ni pueden comparar sus mediciones). Un observador mide la longitud de un objeto con una regla que corresponde a su sistema de coordenados y el tiempo de su ocurrencia con su reloj. Otro observador de otro sistema de referencia que se traslada con velocidad distinta mide las mismas propiedades del mismo objeto con sus instrumentos y obtiene resultados que, con velocidades grandes y diferentes para cada sistema, difieren dramáticamente. Sin embargo, la propiedad que se llaman el *intervalo* se mantiene invariante para todos los observadores. O sea la separación entre los valores del espacio y los del tiempo es lo mismo para todos los observadores, no importa las diferencias en sus valores para cualquier dimensión.

El intervalo es la raíz cuadrada de tiempo cuadrado menos la suma de las cuadradas de las tres dimensiones espaciales. Si un observador, asociado al sistema de coordenados, x, y, z, t , a base de sus observaciones mide un evento encuentra que:

$$\sqrt{(\Delta t^2 - \Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2)} = K$$

Entonces otro observador asociado a otro sistema de referencia con coordenados x', y', z', t' , al medir el mismo evento con sus instrumentos asociados con su sistema de referencia, también estará de acuerdo que

$$\sqrt{(\Delta t'^2 - \Delta x'^2 + \Delta y'^2 + \Delta z'^2)} = K$$

donde Δx = la diferencia en los dos valores de x que establecen la longitud del evento en la dimensión x , ($\Delta x = x_1 - x_2$, etc.) y de modo igual $\Delta x' = x'_1 - x'_2$, etc.

Para razones didácticas generalmente se resume las tres coordenadas espaciales en uno, x , (o x') y se expresa la invariancia del intervalo como

$$\Delta t^2 - \Delta x^2 = \Delta t'^2 - \Delta x'^2$$

Siempre que los valores registrados por los diferentes observadores se aplican al mismo objeto o evento.

En el caso que Δt^2 sea mayor que Δx^2 se dice que el intervalo es de *tipo temporal*, y en el caso contrario es de *tipo espacial*. Cuando son iguales el intervalo se llama de *tipo luz*. Veremos en seguida que estas distinciones entre intervalos nos llevan a los temas del orden temporal, la comunicación y la causalidad; temas que son fundamentales para un acercamiento científica a sistemas sociales.

Las regiones del espaciotiempo

A base de estas distinciones se divide el espaciotiempo en un número de "regiones" (fig. 2). En breve: todos los eventos que ocurren adentro de los conos "futuro activo" - "pasado pasivo" serán vistos por todos los observadores de todos los sistemas de referencia de acuerdo a la misma secuencia temporal. Nunca habrá desacuerdo en turno del orden temporal de los eventos aunque sus instrumentos registran diferentes valores para el lapso del tiempo entre ellos. Y si un evento 1 que ocurre en tiempo 1 "gatilla" (me presto este término de Maturana y Varela) un evento 2 en tiempo 2 (dentro de los conos) todos dirán que evento 1 fue la "causa" de evento 2, y que este es el "efecto" de ella.

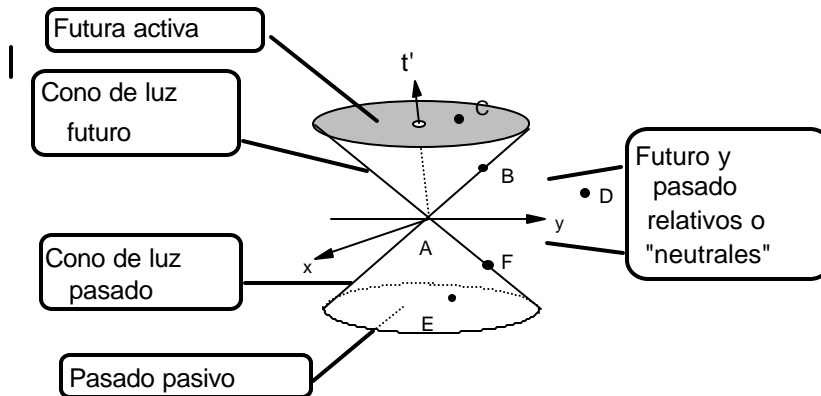
Para los eventos que se ubican en la superficie de los conos todos dirán que son simultáneos, pues aunque sean separados en el espacio y el tiempo los mismos haces de luz, que los comunican con el evento llegan a todos. Entonces todos ven el evento simultáneamente.

Para los observadores afuera de los conos el orden de los eventos es relativo, su separación es de tipo espacial (y generalmente los observadores son sí separados por grandes distancias espaciales).

En seguida reproduzco una esquema de preguntas y respuestas presentados por Taylor y Wheeler para mejor ejemplificar lo que pasa en estas diferentes regiones del espaciotiempo.

- 1) ¿Puede un *partícula* emitido de A afectar lo que *va a pasar* en C?
 - En el caso de "sí" entonces C queda *dentro* del cono futuro de luz de A.
- 2) ¿Puede un *rayo de luz* emitido de A afectar lo que *va a pasar* en B?
 - Si la respuesta es "sí" entonces B queda *en* el cono futuro de luz de A.
- 3) ¿Puede un *efecto* cualquiera producido de A afectar lo que *va a pasar* en D?
 - Si la respuesta es "no", D queda *afuera* del cono de luz de A

- 4) ¿Puede una *partícula* emitida de E afectar lo que *está pasando* pasar en A?
- Si la respuesta es "sí" entonces E queda *dentro* del cono pasado de luz de A.
- 5) ¿Puede una *raya de luz* emitido de F afectar lo que *está pasando* en A?
- En el caso de "sí" entonces F queda *en* el cono pasado de luz de A.



Las regiones del espacio-tiempo

Figure 2.

Esta manera para representar las regiones del espaciotiempo por los conos de luz futuros y pasados tradicionalmente se emplea para facilitar la visualización tridimensionalmente de una estructura cuadridimensional. Hay que entender que $t(\text{pasado}) = -(x^2+y^2+z^2)$ y $t(\text{futuro}) = +(x^2+y^2+z^2)$, o sea que el pasado, en vez de un cono convergente en A y el futuro un cono divergente desde A, más bien son dos esferas. Una el pasado se contrae en A, y la otra, el futuro se origina en A y de ahí expande. A su vez la superficie del hiperesfera que se especifica por las 4 dimensiones (incl. t) corresponde a lo que nosotros entendemos como "volumen". (aunque en la relatividad el volumen tridimensional tiene el carácter de una superficie de una "hiperesfera" cuadridimensional).

Estos autores resaltan el punto de que "... el cono de luz de evento A - y el cono de luz de todo otro evento - tiene una existencia en el espaciotiempo muy aparte de las coordenates que pueden usarse para describirlo. Por ende las posibilidades mencionadas en las 5 preguntas anteriores, que un evento afectará otro evento son independientes de la armazón de referencia en la cual esta conexión entre eventos es observada. En este sentido la conexión causal entre dos eventos es preservado en toda armazón de referencia. Lo que es importante resaltar ahora es la imposibilidad de fijar una relación causal (en tiempo t' ocurrió A en x', y esto dió lugar a D en t'', x''). Se puede arreglar las armazones de referencia de modo que A antecede D, y lo "causa", o que D antecede A, y lo "causa". El "arreglo" consiste en la relación entre las velocidades relativas de las dos armazones y sus direcciones relativas de movimiento.

Covariancia y coordinación

Los coordinados asociados con un evento en un sistema de referencia difieren a los coordinados que describen el mismo evento en otro sistema de referencia. Pero hay una ley, que se expresa en la transformación Lorentz de coordinados, que permite el cálculo de los coordinados de un evento en un sistema de referencia, dado sus valores medidos en otra sistema y la velocidad relativa de los dos sistemas. Como enfatizan Taylor y Wheeler (1966) *pese a que los coordinados varían en cada sistema de referencia, sus variaciones son coordinados entre sí*. Ya he mencionado las conclusiones de Schumacher de que la relatividad es esencialmente una teoría de la comunicación. Y, hemos visto que es el observador quien establece los coordinados apropiados para su sistema de referencia y, a su vez, que toda acción y mantención de los coordinados y comunicación entre observadores sólo pueden realizarse en términos de los coordinados. Los coordinados dan lugar al observador y establecen su sistema de referencia, y el observador establece los coordinados de su sistema de referencia. Parece una cuestión del huevo y la gallina.

Para que haya una coordinación covariante entre sistemas de referencia tiene que haber una coordinación entre los observadores asociados con estos sistemas de referencia, o más generalmente, entre todo posible sistema de referencia. Pues las transformaciones de Lorentz sólo se aplican a los cambios en los valores dimensionales de eventos registrados por observadores.

Ahora vemos que aquí se presenta una paradoja que parece corresponder a tipo 3. o sea, una inconsistencia lógica en la estructura de la relatividad. En este caso se debe poder diseñar un experimento apropiado (real o mental) que falsificaría la teoría, sin embargo la relatividad ha sido comprobado en millones de experimentos con objetos que varían en escala desde la los partículas subatómicos hasta la de gigantes galaxias y cúmulos de galaxias a los confines del universo, pasando por objetos de tamaño intermedio como las estrellas y planetas.⁷

Huecos en la lógica y en la física

Los físicos nunca se han dejado preocuparse de estas dificultades conceptuales que aflijan sus propios éxitos científicos. El destacado matemático Kurt Gödel fue uno de aquellos quien más se preocupó de la relación sujeto - objeto. Recordamos que Gödel sacudó las fundaciones de la matemática cuando demostró que en cualquier sistema lógico-matemático de suficiente complejidad siempre habrán proposiciones verdades cuya veracidad no puede comprobarse dentro del sistema y otras falsas cuya falsidad tampoco demostrarse. Gödel, con la *teorema de la incompletitud* demostró la existencia de "huecos" lógicos en la lógica al dirigirse al análisis formal de las propiedades de *descripciones autoreferenciales*, o mejor dicho, empleó la autoreferencialidad para codificar el cálculo de proposiciones en términos de la teoría de números para demostrar la incompletud de esa lógica formal, y por

⁷Taylor y Wheeler (1966 123) señalan que de las 50 aceleradores de partículas existentes entonces, que producen partículas de energía mayor de 100MeV, cada uno en operación 100 días por año y cada uno registrando 200 colisiones por día en operación revelarían cualquier desacuerdo con las predicciones de la relatividad, esto nunca ha ocurrido. Así, hubo 1,000,000 pruebas experimentales por año con una sensibilidad de una parte en 10,000. Hoy en día la pruebas serían incrementado enormemente en número y en sensibilidad. La relatividad predijo la existencia de agujeros negros, estrellas de neutrones, lentes gravitacionales entre otros fenómenos "extraños" que con el tiempo han sido identificados.

la inducción matemática de cualquier sistema lógico-matemático⁸. Más luego, propuso un modelo cosmológico, consistente con la relatividad pero sacando otra solución de las ecuaciones de Einstein y que tiene la propiedad de que el campo de la velocidad es rotacional. Resulta que por una selección apropiada de geodésicos⁹, un viajero puede volver a visitarse en un tiempo anterior (siempre cumpliendo con ciertas condiciones específicas que Chandrasekher (1967: 68-74) pudo especificar).

En la misma colección Wheeler (1967: 90-110) partió de las preocupaciones de Gödel para acercarse al problema sujeto-objeto y desarrolla una interpretación de la geometría como portador de información sobre el tiempo. Al principio de su artículo resume las ideas de Dicke que ahora se refieren como el principio antrópico. Simplificándola mucho, este principio postula que *el universo es como es para que, y porque estemos aquí para observarlo*.

Para mí el problema es eso. ¿Cómo podemos justificar el empleo de la relatividad para la comprensión de los orígenes y evolución temprano del universo cuando todavía no existían condiciones para una coordinación entre observadores, y quizás ni tampoco para observadores mismos? No es una respuesta adecuada el sostener que mediante nuestros telescopios cada vez más poderosos, que extienden nuestras observaciones a objetos siempre más alejados y por ende más tempranos en el tiempo (al observar una galaxia o quasar a 10,000,000 años-luz de distancia estamos observándolo como lo era hace 10,000,000 años debido a la invariancia de la velocidad de luz). En un universo que expande de modo que la velocidad de expansión de un evento, medida desde cualquier punto, es una función de la distancia misma y así de la antigüedad del evento, el desplazamiento Doppler de la longitud de las ondas emitidas por el evento impone una limitación. Cuando la velocidad de la expansión excede la de la luz la longitud de la onda es infinito y toda comunicación cesa. Esta situación constituye lo que se llama una horizonte de eventos. El modelo cosmológico del "Big Bang", según el cual al comienzo toda la masa (energía y materia) del universo fue concentrado en una singularidad infinitesimal de densidad infinita, necesariamente impone una tal horizonte de eventos. El ajustado "modelo inflacionario" sólo compone las dificultades al "seccionar" el universo en partes que ya no son intercomunicables entre sí por medio del envío y la recepción de la luz. Y si se verifica la ligera heterogeneidad de la radiación a fondo emitido desde toda parte del universo, recién obtenido por observaciones con el satélite COBE, ...

El observador: dos visiones de sus coordinados

A mí, como antropólogo, no me gusta refundirme en el principio antrópico; en cierto modo porque tiene una cierta "tinta" de antropocentrismo. Sin embargo, los problemas indicados con relación a los observadores y sus sistemas de referencia no pueden "no -verse". Como mantuve al comienzo, si vamos a hacer ciencia, hagámosla, pero sin convivir con paradojas

⁸Un buena discusión del teorema de Gödel y sus implicaciones para la cognición está dado por R. Douglas Hofstadter (1980)

⁹Un geodésico puede entenderse como la línea más corta trazado entre dos puntos de una superficie, en una esfera todos los meridianos son geodesicos. Ciertas operaciones matemáticas sobre una esfera producen geodésicos de la forma de paralelos de latitud.

tipo 3 ni ambigüedades experimentales. Sin embargo, debe ser obvio que han de darse nuevos cambios en nuestras modalidades en cómo hacerlo, inclusive en la física.

Ya desde hace varias décadas un número de distinguidas figuras de las ciencias han logrado avances importantes en la elaboración de un nuevo modo de hacer ciencia que deliberadamente da cuenta de los fenómenos observados y de los observadores. Hay un número apreciable de científicos que trabajan en este afán (véase Ibáñez 1990 y Watzlawick 1993) y son generalmente glosado bajo del rúbrico de "constructivismo", "segundo cibernética" o "enactivismo". Aquí sólo voy a tratar de ciertas aportaciones de dos de ellos, Heinz von Foerster y Humberto Maturana (sin olvidar su colaborador Francisco Varela), y con respecto al problema del observador en la relatividad.

El organismo: coordinados y autoreferencia

Von Foerster (1970: 3-23) presenta las relaciones entre un organismo y su ambiente desde dos pares de perspectivas: Se parte de la equivalencia topológica de cualquier organismo con una esfera. Esta equivalencia topológica (cerrada y orientable) permite la descripción de cada punto de su superficie del organismo en términos de un sistema de dos coordinados geodesicos, **a** y **b**, (cada par representado por **x** que von Foerster denomina el "espacio propietario" del organismo). Para cada punto de la superficie la curvatura gaussiana, **g**, está dado tal que la totalidad de los triples **a**, **b**, **g** determinan la forma global de la superficie, $\mathbf{G} = \mathbf{S}(\mathbf{g}(\mathbf{a}; \mathbf{b}))$, (. Ya que la curvatura gaussiana es invariante para una superficie dada, sin importar las doblamientos que puede experimentar, entonces se define un estado arbitrario de "descanso" (rest state: $d\mathbf{G} = 0$) para el organismo en términos de los geodesicos apropiados.¹⁰

Las dichas propiedades permiten el trazar de una aplicación (1 a 1) desde la superficie del organismo y la superficie de una esfera unitaria ($R = 1$). Estas consideraciones también permiten el trazar de una aplicación entre las células del organismo con los puntos del volumen de la esfera. A razón de la invariancia de las transformaciones se llama la esfera "la esfera representativa corporal".

Se supone que el organismo esté imbricado en un "ambiente" de métrica euclidiana fija que define su posición por la identificación de tres pares de coordinados geodesicos (**a**, **b**) que se denomina **x**₁, **x**₂, **x**₃ con tres puntos ambientales x_1, x_2, x_3 . A su vez, la esfera representativa corporal es imbricada en un "ambiente representativa" en una métrica euclidiana variable, y con las otras condiciones *mutatis mutandis*.

En los dos pares de figuras 3a y 3b, y 4a y 4b, se representan la configuración del espacio propietario, **x**, del organismo (de forma renecuajo) tal como visto de un ambiente euclidia-

¹⁰Al iniciar su trabajo von Foerster define las propiedades topológicas básica del organismo vivo, **W**, para poder más luego tratar de las interacciones entre endoterma y ectoterma y la lógica que va a surgir de su actuar en su ambiente. Aquí sólo indicamos que se trata de una superficie de genus $p=2$, que consiste de 3 huecos ($s=3$) e interconectados por una red de tubos en forma T ($t=1$). Así, genus $p = (s+t)/2 = 4/2 = 2$. Aquí no trataré de las ramificaciones biológicas del modelo. Una versión más simple del modelo se encuentra en von Foerster (1991b: 63-79)

no (3a y 4a) y la configuración del ambiente no-euclidiano tal como visto desde la esfera representativa (3b, 4b; aquí se representa las proyecciones estereográficas de las coordenadas del imagen esférico) . En los casos 3a, 3b el organismo está en descanso ($\mathbf{dG} = 0$). y en 4a, 4b está en movimiento ($\mathbf{dG} \neq 0$).

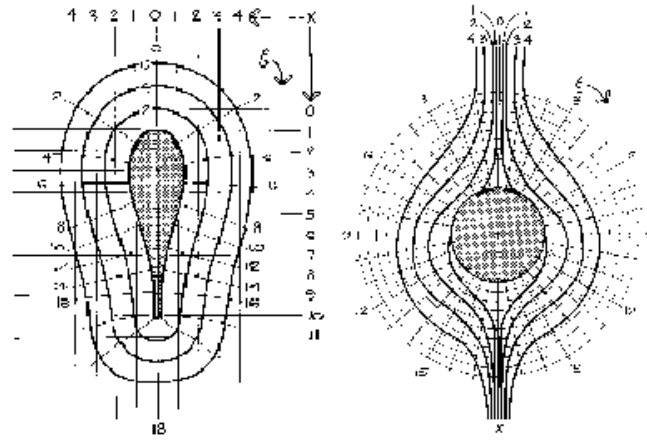


Fig. 3a

Fig. 3b

3a.:Geodesicos del sistema propietario de coordenados de un organismo Ω "en descanso" ($\delta\Gamma=0$) imbricado en un ambiente con una métrica euclidiana.

3b.:Geodesicos (circuitos, radios) del sistema propietario de coordenados con respecto a la esfera corporal representativa imbricada en un ambiente con una métrica correspondiente a al organismo "en movimiento".

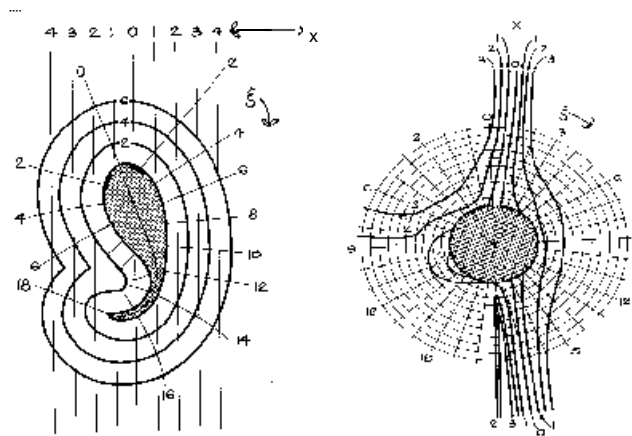


Fig.4a

Fig.4b

4a:Geodesicos del sistema propietario de coordenados de un organismo Ω "en movimiento" ($\delta\Gamma\neq 0$) imbricado en un ambiente con una métrica euclidiana.

4b.:Geodesicos (circuitos, radios) del sistema propietario de coordenados con respecto a la esfera corporal representativa imbricada en un ambiente con una métrica correspondiente a al organismo "en descanso"

De aquí, von Foerster desarrolla la geometría diferencial del organismo para dar cuenta del conjunto de sus componentes básicas (células, receptores, efectores, sensores, músculos, etc.) de modo que demuestra que el "actuar-computar" de sí mismo en su ambiente, actividad cuya mismo desenvolvimiento intrínscico involucra la transformación de paradojas (de tipo 3 a tipo 2), y genera una lógica inferencial elemental que es imbricada en la organización del organismo. Esta lógica que incluye las leyes de la contradicción excluida $\sim (X \& \sim X)$; en palabras: "no: X y no-X") y del tercero excluido ($X \cup \sim X$; en palabras: "X o no-X"), y se generan en los estados de movimientos (resto, acercamiento, alejamiento) que se dan entre cualquier dos organismos-observadores y constituyen una comunicación elemental.

Para los propósitos aquí, lo más inmediatamente impactante de esta obra de von Foerster es que nos proporciona con técnicas conceptuales y operativas para la especificación del observador en asociación con su sistema de referencia, y como tratar de *una comunicación coordinada entre dos sistemas de referencia con diferentes movimientos relativos*. Como ya señalado, los físicos clásicamente lo logran por la exclusión deliberada de la discusión de cualquier propiedad del observador fuera de alguna capacidad de poner coordenados, medir valores de extensión espacial o duración temporal, emitir y recibir señales, etc. Empero, como aún Schumacher (1967) insiste el físico nunca acudirá a conceptos como "cognición" o "conciencia" en su tarea descriptiva, entonces se tejen una red topológica de paradojas siempre más densa. Los trabajos de Heinz von Foerster demuestran que la intrusión de tales conceptos como "primitivos" no es necesaria. Más bien, que estos, que son propiedades de **W** deducibles de los primitivos "entidad", "evento", "invariancia", "cambio", que en sí se autogeneran de los más simples operadores matemáticos. En este caso tenemos lo que Maturana y Varela han denominado un sistema autopoietico y de que se tratará más abajo.

Quizás el mayor obstáculo conceptual deviene de nuestra propia configuración biológica (por lo menos en esta etapa de nuestra evolución): no podemos conceptualizar nuestro estar y hacer al poder trasladarnos con velocidades altas (según Taylor y Wheeler a velocidades mayores de $1/7$ de la velocidad de luz: $\geq a 300,000/7 = 42,857$ km/seg). Si seguimos a Gödel, trataríamos a velocidades como rotaciones y el problema desvanece. Pero no creo que nos es obligatorio pues matemáticamente todo movimiento de un objeto observado por un observador se representa por una rotación de su sistema de referencia con respecto a él del observador en la teoría de la relatividad.

En los dos trabajos von Foerster demuestra que el observador **W**, como un organismo "... es un relacionador (un mecanismo físico que computa una relación) que computa las relaciones que mantienen la integridad del organismo." (1991: 73) Siendo **W** una función definido recursivamente. Una cosa del mayor importancia aquí es que **W** solo puede verse como imbricado en un sistema de coordenados euclidianos desde el visto de otro observador **W'** ($\mathbf{W}^1 \mathbf{W}'$), empero, a razón de la definición recursiva de **W**, **W** puede obtener una representación \mathbf{W}^{n-k} de sí mismo conforme a un ambiente euclidiana. De la definición de la curvatura gaussiana (en que los coordenados geodésicos sólo localmente se aproximan a coordenados cartesianos) las coordenados del ambiente en el cual la esfera representativa corporal está imbricada no son euclidianas.

nos pues la geometría del espacio mismo de esta (o sea de su ambiente) no puede ser euclidiana si se quiere preservar una regla de transformación entre los dos sistemas de coordenados (Esto solo podría darse para un organismo totalmente plano en el cual toda $\lambda = 0$ (o sea de curvatura parabólica), esta permite la construcción de superficies "desenrollables").

Pues bien. En la relatividad los coordenados trazados por cualquier observador en su propio sistema de referencia son euclidianos, pues son una representación terminal o descripción, del sistema y del arreglo de reglas, relojes (con masa, carga eléctrica, etc.) que manifiestan la estructura física de este sistema, y que en su conjunto y por su organización interna se expresan como el observador. Esos coordenados no son los geodesicos del observador, pues los geodesicos sólo pueden definirse en términos de una superficie "conectada". Pero, el observador en su *proceso de construcción del sistema* los vea como una colección de "objetos" y "eventos" que él se dedica a coordinar. El observador, a la vez que va coordinando todos estos primitivos se va conformando a sí mismo. En tanto que el observador va creando la coordinación de estos objetos y eventos como componentes en interacción entre sí de manera coordinada, se configurará como una entidad completamente interconectada y que mantiene la integridad del observador.

El meollo del asunto es eso. A menos que: i) los instrumentos registradores son infinitesimalmente pequeños, o ii) se trasladan infinitamente lentos de una posición a otra, no se construirá un sistema de referencia sino un número de diferentes sistemas, cada uno con su propio sistema de coordenados cuya construcción involucrará su coordinador o observador. Es en este sentido que se habla de la teoría especial (o restringida) de la relatividad pues se elimina la aceleración de consideración. Cada sistema de referencia sólo constituye un sistema dentro de algún límite de error que según Taylor y Wheeler se toma en la práctica como 1 parte en 10,000. O sea, dentro de este límite cada sistema de referencia es sólo un fenómeno local aceptable por nosotros como una comunidad de observadores. Es nuestra existencia como observadores, conformantes de una comunidad de observadores, que define la extensión de otros sistemas que identificamos con otros observadores. Si pudiéramos exigir una certeza absoluta en la construcción de sistemas euclidianos de referencia, tendríamos que tratar de un número infinito de observadores. Las incertidumbres intrínsecas a la mecánica cuántica imposibilitan una certeza tal.¹¹ de modo que el número de observadores sería finito aunque enorme.

En todo caso, la geometría del ambiente en que se sitúa el observador sólo puede ser euclidiana a la vez que este lo configura y computa una representación interna a él de él haciendolo., y cuando está observado por un observador en un otro sistema de referencia. Consideremos que cada observador esté asociado con un sistema de referencia en movimiento relativo a todos los demás. Constituido el observador en su sistema de referencia es haber logrado una aplicación de él en la esfera representativa corporal.

El argumento habría podido desarrollarse al revés sin alterar su sentido. Comenzado con un proto observador, que sólo experimenta a sí mismo en términos de una proto esfera representativa corporal a una escala atómica que va articulándose de relojes atómicos (osciladores que

¹¹Dirac and Eddington se fijaron en el número 10^{40} que ocurre con frecuencia al tratar de las relaciones entre las magnitudes del mundo cuántica con el cosmos entero.

emiten ondas electromagnéticas de longitud constante que los identifican por las líneas espectrográficas) y por medio de reglas mínimas (longitud de onda Compton del proton, etc.) y paulatinamente extendiéndose (aumentando la escala del sistema de referencia, coordinándose, en el mismo proceso de configurarse en cúmulos de materia. Es evidente que los dos procesos tienen que constituir un solo proceso autocomplementario - autopoietico.

Consideremos la esfera representativa corporal que conserva la invariancia de sus geodesicos pero cuyos coordinados ambientales en su sistema de referencia o ambiente representativo no son euclidianos.. El movimiento de la entidad, visto desde afuera, da lugar a un cambio en su forma ($\mathbf{dG}^1 0$), que no está reflejado en los coordinados geodésicos de la esfera representativa. Se refleja en la relación de los geodesicos a los coordinados no euclidianos de su ambiente: una correspondencia \mathbf{x}_j, x_j cambia a una \mathbf{x}_j, x_k , etc. El organismo experimentará su movimiento en términos de un cambio de su "horizonte de eventos" pues el cambiarse de un estado "en descanso" a uno "en movimiento" necesariamente involucra una aceleración (por corta que sea). Como se ve en la figura 4b es claro que hacia la dirección "sur-oeste" (o izquierda inferior) toda cosa afuera de de la curva "ambiental" $x>1$ queda afuera de su observación o del "límite del campo sensorial".

Bibliografía

Bohm, David

1965: **The Special Theory of Relativity**. W.A. Benjamin, Inc., New York - Amsterdam

Chandrasekher, S

1967: Geodesics in Gödel's Universe, en T.Gold **The Nature of Time**. Cornell University Press, Ithaca, New York

Earls, John

1973: **Andean Continuum Cosmology**. Tesis de Ph.D. presentado a la Universidad de Illinois, Champaign-Urbana.

Foerster, Heinz von

1970:

Thoughts and Notes on Cognition. en P. Garvin (comp.) **Cognition: a Multiple View**. Spartan Books, New York.

1991a:

Sobre sistemas autoorganizadores y sus ambientes. en **Las semillas de la cibernética**, Gidesa, Barcelona.

1991b:

Notas para una epistemología de los objetos vivientes. en **Las semillas de la cibernética**, Gidesa, Barcelona.

Hofstadter, Douglas

1980: **Gödel, Escher, Bach: an Eternal Goldern Braid**. Vintage Books, New York

Jeans, James

1966: **The Mathematical Theory of Electricity and Magnetism**. Cambridge University Press, Cambridge

McVittie, G.C.

1965: **General Relativity and Cosmology**. University of Illinois Press, Urbana

Maturana, Humberto y Francisco Varela

1990: **El árbol del conocimiento: Las bases biológicas del entendimiento humano**. Ed. Universitaria, Santiago de Chile.

Schumacher, D.L.

1967: Time and Physical Language. in T.Gold **The Nature of Time**. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Taylor, Edwin and John Archibald Wheeler

1966: **Spacetime Physics**. W.H. Freeman and Co., San Francisco

Weyl, Hermann

1952: **Space - Time - Matter**. Dover Publications, New York

Wheeler, J.A

1967: Three-Dimensional Geometry as a Carrier of Information about Time. en T.Gold **The Nature of Time**. Cornell University Press, Ithaca, New York.