Las reconstrucciones modelo teóricas de las teorías científicas

Trasfondo

Durante la década de los sesentas del siglo XX la corriente historicista en filosofía de la ciencia presentó unas críticas serias a la visión de la actividad científica que desarrolló el positivismo lógico durante las primeras décadas de dicho siglo. A pesar de que la crítica que presentaron tiene fundamento, los historicistas no presentaron ninguna propuesta alterna que pudiera salvar a la filosofía de la ciencia del error de presentar una visión distorsionada de la actividad científica. En general, la crítica apuntaba al hecho de que la visión de la actividad científica implantada por los positivistas es demasiado simple para dar cuenta de una actividad tan compleja como la científica y en este sentido omitían del análisis elementos fundamentales que inciden de manera importante sobre la ciencia. Aunque la crítica historicista provocó un sentido de pesimismo acerca de la posibilidad de presentar una visión más adecuada de la actividad científica, durante las décadas de los setentas y ochentas, gracias a los trabajos de los semanticistas, se vuelve a recuperar la confianza en la posibilidad de formalización de muchos de los aspectos que inciden sobre la actividad científica y que la postura positivista no consideraba.

Una de las críticas que se presentó al positivismo lógico fue dirigida hacia la postura de considerar a las teorías científicas como conjuntos de enunciados relacionados lógicamente. Ante esta crítica la alternativa semanticista considera que la mejor manera de representar a las teorías es mediante modelos. Entre los semanticistas existen discrepancias en torno al concepto de 'modélo'. Son los estructuralistas los que han desarrollado de manera más exitosa la formalización de la estructura detallada de las teorías científicas. Los estructuralistas reconstruyen las teorías científicas en términos del lenguaje de la teoría de conjuntos. Aunque las reconstrucciones que se presentan en esta ponencia tienen su raíz en la concepción estructuralista, las mismas no incorporan algunas de las ideas que los estructuralistas consideran en sus reconstrucciones. En este sentido no me considero estructuralista, aunque sí semanticista.

En esta ponencia se presentan algunos de los conceptos y operaciones fundamentales de la teoría de conjuntos que pueden utilizarse en la reconstrucción de teorías científicas y se presentan algunos ejemplos de teorías científicas reconstruidas en esos términos.

¿Qué es una teoría científica?

Comenzaremos por dejar claro que el concepto de teoría científica no puede definirse por la manera en que se representa la teoría. Si así fuera, entonces dos representaciones en términos diferentes resultaría en dos teorías diferentes, algo que intuitivamente no tiene sentido. Una teoría puede representarse de diferentes maneras y sigue siendo la misma teoría. Lo esencial de la teoría es el conjunto de ideas relacionadas acerca de un aspecto de la realidad y la manera en que uno expresa o reconstruye esa teoría no debe definir a la teoría.

¿Qué es una reconstrucción?

Una reconstrucción es la representación de una teoría en algún lenguaje. Los positivistas lógicos utilizan la herramienta de la lógica para presentar sus reconstrucciones. Ellos consideran a las teorías como conjuntos de enunciados relacionados por deducción. Aunque las críticas que se presentaron a esta postura son numerosas, y no es el propósito de esta ponencia entrar a discutirlas todas (en ponencias pasadas ya he presentado algunas de esas dificultades), mencionaré cuatro que resultan serias. Primera, la identificación de una teoría con un conjunto de enunciados no es consistente con la posibilidad de formalizaciones alternas. Segunda, no todas las teorías científicas son reconstruibles en términos lógicos. Por ejemplo, algunas de las teorías desarrolladas por los bioquímicos, como la teoría bioquímica de la herencia no son axiomatizables lógicamente. Tercera, la identificación de una teoría con un conjunto de axiomas fundamentales inalterable no refleja el aspecto del cambio teórico. Cuarta, una reconstrucción completa de una teoría en términos lógicos es sumamente difícil de lograr, si no imposible.

Aunque los semanticistas discrepan en muchos aspectos, todos consideramos que la mejor manera de representar a las teorías es utilizando modelos. Entre las vertientes semanticistas la propuesta estructuralista es la más que se ha desarrollado y la que mejor presenta la reconstrucción del detalle de las teorías científicas. Estas reconstrucciones se realizan en términos del lenguaje de la teoría de conjuntos. Aunque no me considero estructuralista, la idea central de las reconstrucciones que presento tiene su raíz en la idea estructuralista de utilizar el lenguaje de la teoría de conjuntos para reconstruir los modelos que representan a dichas teorías.

Elementos de la teoría de conjuntos

En vista de que se utilizará el lenguaje de la teoría de conjuntos, ahora se presentarán algunos de los conceptos y operaciones fundamentales de dicha teoría.

El conjunto

Definición:

conjunto: colección de objetos o entes que tienen un grupo de propiedades en común.

Los conjuntos pueden definirse por comprehensión, en cuyo caso se establecen sus miembros especificando el grupo de propiedades que comparten.

Ejemplo: A={x: x es un entero positivo} (definición por comprehensión)

Los conjuntos también pueden definirse por extensión, en cuyo caso se incluyen todos los elementos del conjunto entre corchetes separados por comas. Los elementos de un conjunto no se repiten.

Ejemplo: A={a,e,i,o,u} (definición por extensión)

Cardinalidad de un conjunto

Definición:

Cardinalidad de un conjunto: es el número que representa el número de elementos que contiene un conjunto.

Notación: $\|A\|$ = cardinalidad de A

Elemento de un conjunto

Definición:

Elemento de un conjunto es uno de los miembros que comparte con los demás miembros el grupo de propiedades que define al conjunto.

x es elemento del conjunto A se representa de la siguiente manera: $x \in A$

Subconjunto de un conjunto

Definición:

Subconjunto de un conjunto: conjunto cuyos elementos todos están contenidos en el conjunto del cual él es subconjunto.

C es un subconjunto de A se representa de la siguiente manera: $C \subset A$

El conjunto nulo

Definición:

Conjunto nulo: conjunto que no contiene elementos.

Símbolo: $\varnothing$

El conjunto nulo es un subconjunto de todos los conjuntos.

El conjunto potencia

Definición:

Conjunto potencia de un conjunto: conjunto cuyos elementos son todos los subconjuntos del conjunto considerado. El conjunto potencia de un cierto conjunto A es el conjunto B constituido de todos los subconjuntos de A. Esto se puede representar de la siguiente manera:

Pot A = B = $\{C: C \subset A\}$

Ejemplo:

Si A=$\{1,2,3\}$, entonces Pot A=$\{\emptyset,\{1\},\{2\},\{3\},\{1,2\},\{1,3\},\{2,3\},\{1,2,3\}\}$

Operaciones entre conjuntos

La **unión** entre conjuntos genera un nuevo conjunto tal que contiene a todos los elementos contenidos en los conjuntos unidos. Se puede representar de la siguiente manera:

C=AUB / $C=\{x:x \in A \vee x \in B\}$

Ejemplo:

Si A=$\{1,2,3\}$ y B=$\{3,4,5\}$, C=$\{1,2,3,4,5\}$

La **intersección** entre conjuntos genera un nuevo conjunto tal que contiene sólamente a los elementos que se encuentran simultáneamente en los conjuntos intersecados. Se puede representar de la siguiente manera:

$C=\{x:x \in A \wedge x \in B\}$

Ejemplo:

Si A=$\{1,2,3\}$ y B=$\{3,4,5\}$, C=$\{3\}$

La **diferencia** entre dos conjuntos genera un nuevo conjunto tal que contiene sólamente a los elementos que se pertenecen a un conjunto y que no pertenecen al otro. La diferencia entre conjuntos no es una operación conmutativa. Se puede representar de la siguiente manera:

$C=A\backslash B$ / $C=\{x:x\in A \wedge x \notin B\}$

Ejemplo:

Si $A=\{1,2,3\}$ y $B=\{3,4,5\}$, $C=\{1,2\}$

El complemento de un conjunto

El complemento genera un nuevo conjunto C tal que contiene los elementos que no están en A con respecto al conjunto universal U. Se puede representar de la siguiente manera:

$C=A^C$ / $C=\{x:x\notin A\}=U\backslash A$, donde U es el conjunto universal.

Ejemplo:

Si $A=\{a,e,u\}$, $C=\{i,o\}$ donde U es el conjunto de las vocales del alfabeto.

La tupla, eneada o conjunto ordenado

Definición:

Tupla: conjunto ordenado que posee una cierta estructura definida. En una tupla los elementos pueden repetirse. Las tuplas se representan de la siguiente manera:

$A=<a_1,a_2,\ldots,a_n>$

Las tuplas son útiles para representar estructuras de entes.

Ejemplo:

La caracterización de una persona puede representarse con la siguiente tupla:

$P_i=<cabeza_i, tronco_i, extremidades_i>$

Se debe comentar que las tuplas son entidades sumamente flexibles en el sentido de que se pueden utilizar en diferentes grados de especificidad de acuerdo con las circunstancias y las necesidades del análisis.

Más operaciones entre conjuntos

El producto cartesiano

Definición:

El **producto cartesiano** entre varios conjuntos genera un nuevo conjunto tal que sus elementos son tuplas donde el primer miembro pertenece al primer conjunto, el segundo miembro pertenece al segundo, etcétera. Se representa de la siguiente manera:

$C=AxB$ / $C=\{x:x=<a_i,b_j>\}$

Ejemplos:

Si $A=\{1,2,3\}$ y $B=\{2,4\}$, entonces

$AxB=\{<1,2>,<1,4>,<2,2>,<2,4>,<3,2>,<3,4>\}$

$AxA=A^2=\{<1,1><1,2>,<1,3>,<2,1>,<2,2>,<2,3>,<3,1>,<3,2>,<3,3>\}$

$BxBxB=B^3=\{<2,2,2>,<2,2,4>,<2,4,2>,<2,4,4>, <4,2,2>,<4,2,4>,<4,4,2>,<4,4,4>\}$

La proyección sobe una tupla

Definición:

La iésima **proyección** sobre la tupla A genera el iésimo elemento de A a_i. Se representa de la siguiente manera:

$\prod_i A= \prod_i <a_1, a_2, \ldots,a_i ,\ldots, a_n>= a_i$

La partición

Definición:

Partición: conjunto formado por la unión de varios conjuntos entre los cuales no existen elementos en común. Se puede representar de la siguiente manera:

$$A = \bigcup_{i=1}^{n} A_i, \quad A_i \cap A_j = \varnothing$$

Definición:

Los subconjuntos que definen una partición se denominan **clases de equivalencia**.

Las funciones

Definición:

Una **función** f de A en B (f(a)=b) es una regla que le asocia a cada elemento de A un único elemento de B. A es el dominio de f y B el recorrido o alcance de f. Se puede representar de la siguiente manera:

f: $A \rightarrow B$

Ejemplos:

F1(x)= la edad de x

F2(x)= la estatura de x

Representación alterna de una función en términos del lenguaje de teoría de conjuntos:

F es un subconjunto del producto cartesiano AxB tal que para todo a elemento de A existe un b elemento de B y la tupla <a,b> es un elemento de F. Se puede representar como sigue:

$F \subset AxB \;/\; \forall\, a \in A \;\exists\, b \in B,\ \langle a,b \rangle \in F$

Propiedades de funciones

Definiciones:

Una función y=f(x) es **total** si a todo elemento de X le asigna un elemento Y.

Una función y=f(x) es **parcial** si no a todo elemento de X le asigna un elemento de Y.

Una función y=f(x) es **sobre el alcance** Y si a todo elemento de Y le corresponde un elemento de X.

Una función y=f(x) es **en el alcance** Y si no a todo elemento de Y le corresponde un elemento de X.

La biyección

Definición:

Una **función biyectiva** es si a cada elemento del alcance Y le corresponde un único elemento del dominio X. Esto puede representarse así:

$\forall y \in Y \ !\exists x \in X \ / \ f(x)=y$

Reconstrucción modelo teórica de la Mecánica de Newton (NM)

$m \in \mathrm{M}(NM) \leftrightarrow \exists : T, B, x, v, a, M, F, \lambda, \alpha, \beta, \gamma, \varepsilon, \varphi, \tau, \sigma$ /

(1) $m = \langle T, B, x, v, a, M, F, \lambda, \alpha, \beta, \gamma, \varepsilon, \varphi, \tau, \sigma \rangle$

(2) $T = \{1,2,...\} / 1 < \|T\| < \aleph_0$

(3) $\lambda : \mathrm{Pow}\, Y \mapsto T / Y = B \cup X \cup V \cup A \cup M \cup P \cup F_n$

(4) $X \equiv \times_{i=1}^{3} x_i \;/\; x_i \in \Re$

(5) $\alpha : \lambda(t_i) \cap B \mapsto \lambda(t_i) \cap X$

(6) $V \equiv \times_{i=1}^{3} v_i \;/\; v_i \in \Re$

(7) $\beta : \lambda(t_i) \cap B \mapsto \lambda(t_i) \cap V$

(8) $A \equiv \times_{i=1}^{3} a_i \;/\; a_i \in \Re$

(9) $\gamma : \lambda(t_i) \cap B \mapsto \lambda(t_i) \cap A$

(10) $\varepsilon : \lambda(t_i) \cap B \mapsto \lambda(t_i) \cap M$

(11) $P \equiv M \times V$

(12) $\varphi : \lambda(t_i) \cap B \mapsto \lambda(t_i) \cap P$

(13) $F = \bigcup_{i=1}^{n} F_i$

(14) $F_n \equiv \times_{i=1}^{n} F_i^k \;/\; k = \| F_i \|$

(15) $\tau : \lambda(t_i) \cap B \mapsto \lambda(t_i) \cap F_n$

(16) $\sigma : \lambda(t_i) \cap F_n \times \lambda(t_i) \cap P \mapsto \lambda(t_{i+1}) \cap P / \Delta P \,\alpha F_n$

(1) Un modelo de la Mecánica de Newton (NM) es una tupla constituida de los siguientes 15 elementos ordenados: el tiempo T, los cuerpos B, los componentes vectoriales de posición x, los componentes vectoriales de velocidad v, los componentes vectoriales de aceleración a, la masa M,

tipos de fuerza F_i, la función de tiempo λ, la función de posición α, la función de velocidad β, la función de aceleración γ, la función de masa ε, la función de *momentum* φ, la función de fuerza neta τ y la función de la segunda ley σ.

(2) En esta reconstrucción el tiempo t_i representa un instante y esta separado de otro subsiguiente t_{i+1} por un intervalo de tiempo Δt que puede considerarse de cualquier duración siempre que las fuerzas ejercidas sobre el cuerpo cuyo movimiento se analiza permanezcan constante durante este intervalo de tiempo. Como la teoría alude a dos instantes, la cardinalidad de T debe ser mayor que 1.

(3) $\lambda(t_i)$ is es el conjunto de entidades existentes al tiempo t_i. La intersección de $\lambda(t_i)$ con cualquier otro conjunto que se extienda en el tiempo da como resultado este segundo conjunto al tiempo t_i. λ puede verse como un localizador temporal.

(4) El conjunto X de las posiciones se genera tomando el producto cartesiano entre las clases de equivalencia del conjunto x. Cada clase de equivalencia representa una de las tres coordenadas necesarias para especificar la posición de un objeto en el espacio tridimensional de tal manera que sólo los sistemas de coordenadas en los cuales la segunda ley se cumple son válidos.

(5) La función α le asigna a cada cuerpo B en un instante t_i un valor de posición X al mismo instante.

(6) El conjunto V de velocidades se genera tomando el producto cartesiano entre las clases de equivalencia del conjunto v. Cada clase de equivalencia representa una de las tres coordenadas necesarias para especificar la velocidad de un objeto en el espacio tridimensional de tal manera que sólo los sistemas de coordenadas en los cuales la segunda ley se cumple son válidos.

(7) β is es una función que le asigna a cada cuerpo B en el instante t_i un valor de velocidad V en el mismo instante.

(8) El conjunto A de aceleraciones se genera tomando el producto cartesiano entre las clases de equivalencia del conjunto a. Cada clase de equivalencia representa una de las tres coordenadas necesarias para especificar la aceleración de un objeto en el espacio tridimensional de tal manera que sólo los sistemas de coordenadas en los cuales la segunda ley se cumple son válidos.

(9) γ es una función que le asigna a cada cuerpo B en el instante t_i un valor de aceleración A en el mismo instante.

(10) ε es una función que le asigna a cada cuerpo B en el instante t_i una masa M en el mismo instante.

(11) El conjunto de los *momenta* P se genera tomando el producto cartesiano entre el conjunto de masas M y el conjunto de velocidades V.

(12) φ es una función que le asigna a cada cuerpo B en el instante t_i un valor de *momentum* P en el mismo instante.

(13) Sobre el conjunto de fuerzas F se puede definir una partición en la cual cada clase de equivalencia F_i representa uno de los tipos de fuerza conocidos de manera que cada F_i es un conjunto que contiene a todas las fuerzas de un mismo tipo (dependiente de la posición, dependiente de la velocidad, …). En el diagrama conjuntista que se presenta en la figura1, F_B representa el conjunto de las fuerzas que actúan sobre un cierto cuerpo.

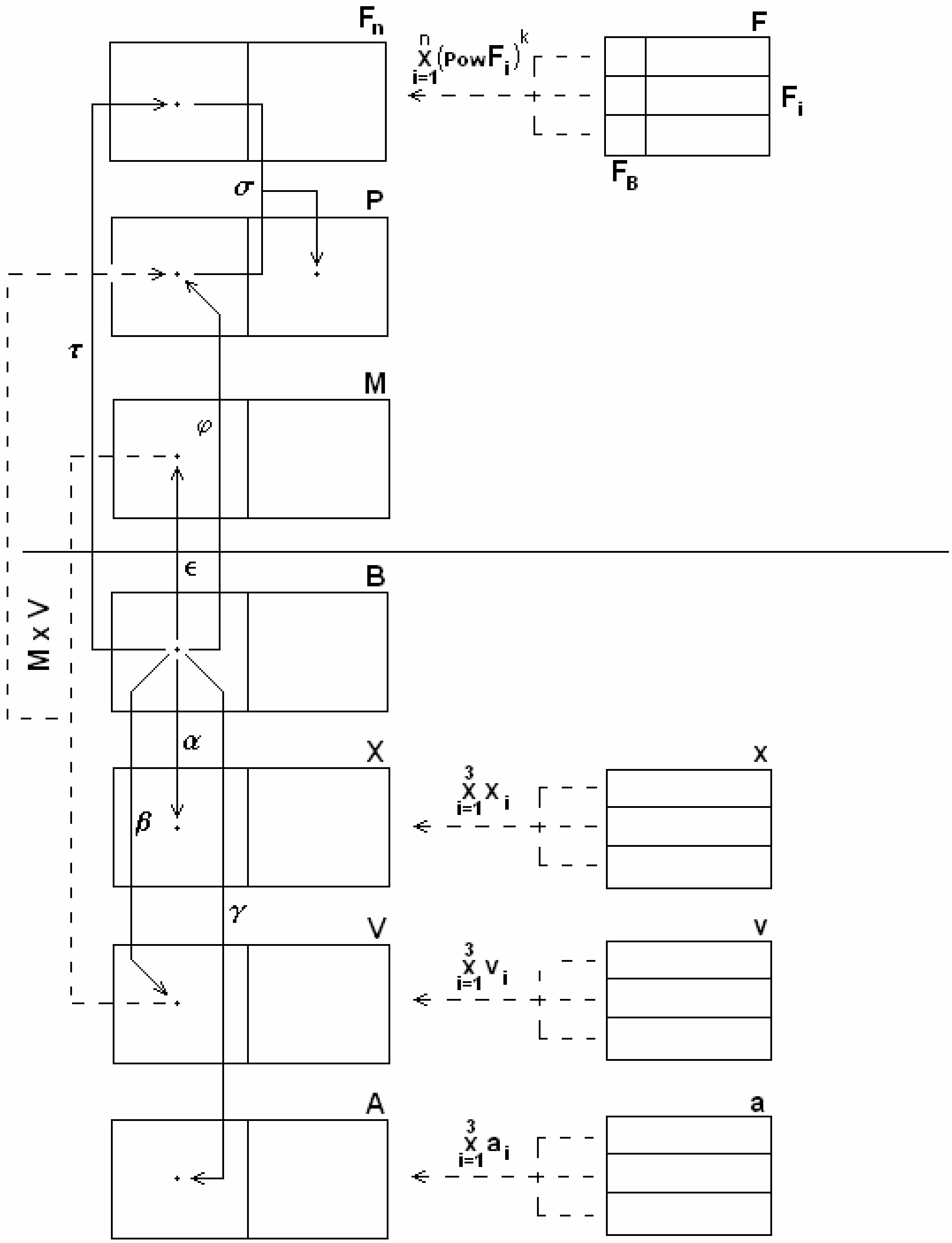
(14) El conjunto de las fuerzas netas F_n se genera tomando el enésimo producto cartesiano de la kaésima potencia de cada una de las tres clases de equivalencia F_i de F tal que k es la cardinalidad de F_i y n el número de fuerzas de diferente tipo.

(15) τ es una función que le asigna a cada cuerpo B en el instante t_i una fuerza neta F_n en el mismo instante.

(16) σ es una función que representa la llamada “segunda ley”, la ley fundamental de la NM, y le asigna a cada pareja de *momentum* P y fuerza neta F_n en el instante t_i un valor de *momentum* P en un tiempo subsiguiente t_{i+1} tal que el cambio en el *momentum* ∆P es proporcional a

F_n. Según fue especificado, esto es cierto sólo si la fuerza neta se considera constante durante el intervalo Δt.

Set Diagram of NM



Reconstrucción modelo teórica de Teoría de la deriva continental (CDT)

$m \in M(CDT) \leftrightarrow \exists : T, P, W, O, s, g, p, b, c, C, S, A, X, F, \lambda, \alpha, \beta, \gamma, \rho, \delta, \varepsilon, \phi, \eta, \iota, \mu, \kappa, \tau, \sigma /$

(1) $m = \langle T, P, W, O, s, g, p, b, c, C, S, A, X, F, \alpha, \beta, \gamma, \rho, \delta, \varepsilon, \phi, \eta, \iota, \mu, \kappa, \tau, \sigma \rangle$

(2) $T = \{t_1 t_2, \ldots\} / T \approx \mathbb{N}, 1 < \|T\| < \aleph_0$

(3) $\lambda : T \mapsto PowY / Y = P \cup W \cup O \cup R \cup C \cup S \cup A \cup X \cup F$

(4) $O = \bigcup_{i=1}^{n} o_i / o_i = \bigcup_{j=1}^{m} o_j$

(5) $\alpha : \lambda(t_i) \cap P \mapsto Pow(\lambda(t_i) \cap O)$

(6) $W = \bigcup_{i=1}^{n} w_i / w_i = \bigcup_{j=1}^{m} w_j$

(7) $\beta : \lambda(t_i) \cap P \mapsto Pow(\lambda(t_i) \cap W)$

(8) $R \equiv \underset{i=1}{\overset{v}{\times}} [\underset{j=1}{\overset{m}{\times}} [(\underset{k=1}{\overset{n}{\times}} s_k) \times (\underset{l=1}{\overset{o}{\times}} g_l) \times (\underset{p=1}{\overset{q}{\times}} p_p) \times (\underset{r=1}{\overset{s}{\times}} b_r) \times (\underset{t=1}{\overset{u}{\times}} c_t)]_j]_i$

(9) $\gamma : \lambda(t_i) \cap P \mapsto \lambda(t_i) \cap R$

(10) $\rho : [Pow(\lambda(t_i) \cap W) \times Pow(\lambda(t_i) \cap O)] \mapsto \lambda(t_{i+1}) \cap R$

(11) $\delta : \lambda(t_i) \cap P \mapsto Pow(\lambda(t_i) \cap C)$

(12) $\varepsilon : \lambda(t_i) \cap P \mapsto Pow(\lambda(t_i) \cap S)$

(13) $\phi : \lambda(t_i) \cap P \mapsto Pow(\lambda(t_i) \cap A)$

(14) $\eta : \lambda(t_i) \cap C \mapsto Pow(\lambda(t_i) \cap X)$

(15) $\iota : \lambda(t_i) \cap S \mapsto Pow(\lambda(t_i) \cap X)$

(16) $\mu : \lambda(t_i) \cap A \mapsto Pow(\lambda(t_i) \cap X)$

(17) $\kappa : \lambda(t_i) \cap C \mapsto \lambda(t_i) \cap F$

(18) $\tau : (\lambda(t_i) \cap F \times \lambda(t_i) \cap C) \mapsto \lambda(t_{i+1}) \cap X$

(19) $\sigma : Pow(\lambda(t_i) \cap X) \mapsto Pow(\lambda(t_i) \cap W)$

(1) Un modelo m de CDT es una tupla que consiste de los siguientes veintisiete elementos ordenados: el tiempo T, los planetas similares a la Tierra P ($E \in P$, donde E es la Tierra), las condiciones climáticas W, los objetos O, la litología s, los datos geológicos g, los datos paleontológicos p, los datos biológicos b, los datos paleoclimáticos c, las masas continentales C, las masas oceánicas S, el eje geográfico A, las posiciones de las masas continentales, de las masas oceánicas y del eje geográfico X y las fuerzas responsables de los desplazamientos continentales F. λ es un localizador temporal que determina el tiempo geológico. α es una función que le asigna a cada planeta similar a la Tierra un conjunto de objetos sobre su superficie. β es una función que le asigna a cada planeta similar a la Tierra un conjunto de condiciones climáticas, γ es una función que le asigna a cada planeta similar a la Tierra una descripción de la evidencia litológica, geológica, paleontológica, biológica y paleoclimática. ρ es una función que le asigna a los efectos de ciertas condiciones climáticas sobre ciertos objetos en un tiempo geológico una cierta evidencia a un tiempo geológico posterior. δ es una función que le asigna a cada planeta similar a la Tierra un conjunto de masas continentales. ε es una función que le asigna a cada planeta similar a la Tierra un conjunto de masas oceánicas. ϕ es una función que le asigna a cada planeta similar a la Tierra un eje geográfico de rotación. Las funciones η, ι y μ le asignan a cada masa continental, a cada masa oceánica y a cada eje geográfico, respectivamente, una posición. κ es una función que le asigna a cada cuerpo continental una fuerza responsable de su desplazamiento. τ es una función que le asigna a cada masa continental sobre la que actúa una fuerza desplazadora en un cierto tiempo geológico una nueva posición a un tiempo geológico posterior. σ es una función que le asigna al conjunto de posiciones relativas entre las masas continentales, las masas oceánicas y el eje geográfico un conjunto de condiciones climáticas distribuidas por todo el planeta.

(2) El conjunto T es isomorfo con un segmento de los números naturales $\mathbb{N}$ en el cual cada elemento representa un tiempo geológico. Debido a que la teoría hace referencias al pasado para dar cuenta de la evidencia a un tiempo geológico posterior, la cardinalidad de T debe ser mayor que 1.

(3) $\lambda(t_i)$ es el conjunto de entes existentes al tiempo t_i.

(4) Sobre el conjunto O de objetos se puede definir una partición en la cual cada clase de equivalencia o_i representa el conjunto de objetos sometidos a diferentes condiciones climáticas en una cierta región. Sobre cada o_i se puede definir una partición donde cada clase de equivalencia o_j representa a los objetos sometidos a las mismas condiciones climáticas.

(5) La función α le asigna a cada planeta similar a la Tierra P un conjunto de objetos organizados por regiones climáticas en cada continente u océano.

(6) Sobre el conjunto W de condiciones climáticas se puede definir una partición en la cual cada clase de equivalencia w_i representa el conjunto de condiciones climáticas en un continente u océano. Sobre cada w_i se puede definir una partición en la cual cada clase de equivalencia w_j representa las diferentes condiciones climáticas en un continente u océano.

(7) La función β a cada planeta similar a la Tierra P un conjunto de condiciones climáticas organizadas por región en cada continente u océano.

(8) Cada elemento del conjunto de las trazas R es una tupla que representa la evidencia asociada con cada planeta. Cada elemento de esta tupla es a su vez una tupla que representa la evidencia asociada con cada continente u océano. Cada elemento de esta última tupla es también una tupla donde cada elemento representa los diferentes tipos de evidencia asociados con una cierta región climática dentro de un continente u océano.

(9) La función γ le asigna a cada planeta similar a la Tierra P una descripción en términos de sus trazas.

(10) La función ρ le asigna a un cierto conjunto de condiciones climáticas actuando sobre un conjunto de objetos en un cierto tiempo geológico un conjunto de trazas a un tiempo geológico posterior.

(11) La función δ le asigna a cada planeta similar a la Tierra P un conjunto de cuerpos continentales C.

(12) La función ε la asigna a cada planeta similar a la Tierra P un conjunto de cuerpos oceánicos S.

(13) La función ϕ la asigna a cada planeta similar a la Tierra P un eje geográfico A.

(14) La función η le asigna a cada masa continental C una posición X. Cada elemento de X es una tripleta caracterizado por los valores de latitud, longitud y altura.

(15) La función ι le asigna a cada masa oceánica S una posición X.

(16) La función μ le asigna al eje geográfico A una posición X.

(17) La función κ le asigna a cada masa continental C una fuerza F responsable de su desplazamiento en el tiempo. En este sentido la teoría no está completa ya que Wegener categóricamente sólo plantea la existencia de una fuerza desplazadora debida a la rotación del planeta dirigida hacia alguno de los polos terrestres, esto es, desplazamiento en dirección norte-sur. Esta fuerza desplazaría la masa continental de la posición $<x_1, x_2>$ a $<x_1+\Delta x_1, x_2>$. El sugiere la existencia de otras fuerzas que podrían ser responsables del desplazamiento en dirección este-oeste, una de las cuales se debe a las corrientes de convección (hipótesis que fue aceptada luego) que se dan en el manto del planeta, pero no las establece categóricamente. La fuerza de desplazamiento hacia el polo más cercano esta dada por:

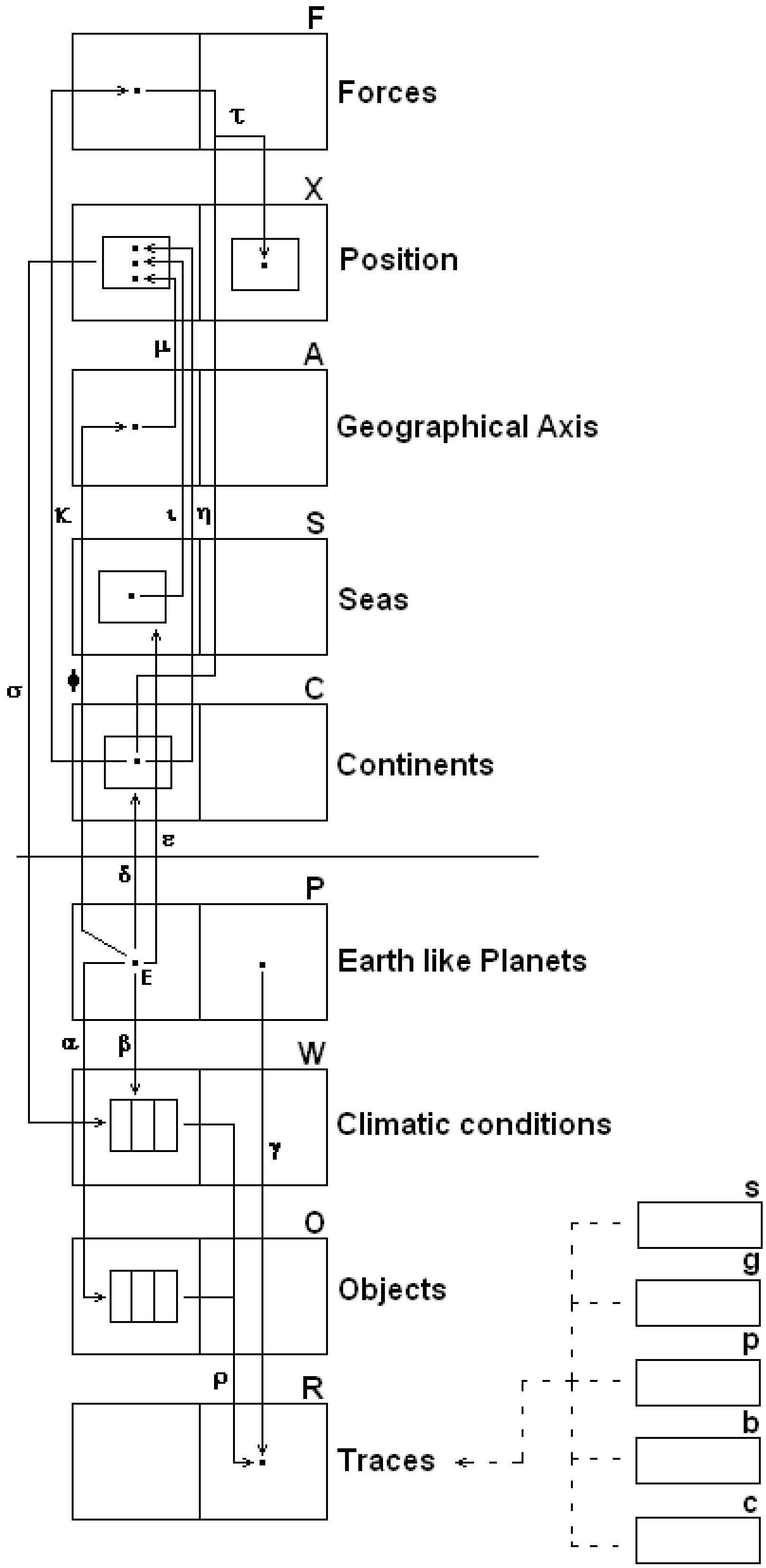
$$K(\theta) = \frac{3}{2}(md\varpi^2 \operatorname{sen} 2\theta)$$

en la cual θ representa la latitud de la masa continental, m es la masa del continente, d es la mitad de la diferencia entre el suelo marino y la superficie de la masa continental y ω es la velocidad angular del planeta.

(18) La función τ la asigna a cada masa continental C sobre la que actúa una fuerza desplazadora a un cierto tiempo geológico una nueva posición X al un tiempo geológico posterior. Según se estableció en (16) sólo se da cuenta de los desplazamientos en dirección norte-sur.

(19) La función σ le asigna al conjunto de posiciones relativas entre las masas continentales, las masas oceánicas y el eje geográfico un conjunto de condiciones climáticas W distribuidas sobre el planeta.

Set Diagram of the CDT



Reconstrucción modelo teórica de la teoría de placas tectónicas (PTT)

$$m \in \mathrm{M}(PTT) \leftrightarrow \exists : T, P, W, O, s, g, p, b, c, m, e, v, Pt, X, A, V, M, C, co, di, tr, \lambda, \alpha, \beta, \gamma, \rho, \kappa, \delta, \mu, \eta, \varepsilon, \phi, \nu, \tau, \iota, \varpi, \sigma /$$

(1) $m = \langle T, P, W, O, s, g, p, b, c, m, e, v, Pt, X, A, V, M, C, co, di, tr, \lambda, \alpha, \beta, \gamma, \rho, \kappa, \delta, \mu, \eta, \varepsilon, \phi, \nu, \tau, \iota, \varpi, \sigma \rangle$

(2) $T = \{t_1, t_2, ...\} / T \approx \mathrm{N}, 1 < \|T\| < \aleph_0$

(3) $\lambda : T \mapsto \mathrm{Pow}\, Y / Y = P \cup W \cup O \cup R \cup E \cup Pt \cup X \cup S \cup M \cup C \cup B$

(4) $O = \bigcup_{i=1}^{n} o_i / o_i = \bigcup_{j=1}^{m} o_j$

(5) $\alpha : \lambda(t_i) \cap P \mapsto \mathrm{Pow}\, (\lambda(t_i) \cap O)$

(6) $W = \bigcup_{i=1}^{n} w_i / w_i = \bigcup_{j=1}^{m} w_i$

(7) $\beta : \lambda(t_i) \cap P \mapsto \mathrm{Pow}\, (\lambda(t_i) \cap W)$

(8) $R \equiv \times_{i=1}^{v} [\times_{j=1}^{m} [(\times_{k=1}^{n} s_k) \times (\times_{l=1}^{o} g_l) \times (\times_{p=1}^{q} p_p) \times (\times_{r=1}^{s} b_r) \times (\times_{t=1}^{u} c_t)]_j]_i$

(9) $E \equiv m \times e \times v / e = \bigcup_{i=1}^{3} e_i$

(10) $\gamma : \lambda(t_i) \cap P \mapsto \lambda(t_i) \cap R$

(11) $\rho : \mathrm{Pow}\, (\lambda(t_i) \cap W) \times (\mathrm{Pow}\, (\lambda(t_i) \cap O) \mapsto \lambda(t_i) \cap R$

(12) $\kappa : \lambda(t_i) \cap P \mapsto \lambda(t_i) \cap E$

(13) $\delta : \lambda(t_i) \cap P \mapsto \mathrm{Pow}\, (\lambda(t_i) \cap Pt)$

(14) $\mu : \lambda(t_i) \cap P \mapsto \lambda(t_i) \cap M$

(15) $\eta : \lambda(t_i) \cap P \mapsto \mathrm{Pow}(\lambda(t_i) \cap C)$

(16) $\varepsilon : \lambda(t_i) \cap Pt \mapsto \lambda(t_i) \cap X$

(17) $S \equiv A \times V$

(18) $\phi : \lambda(t_i) \cap Pt \mapsto \lambda(t_i) \cap S$

(19) $\nu : \mathrm{Pow}\, (\lambda(t_i) \cap C) \mapsto \mathrm{Pow}\, (\lambda(t_i) \cap S)$

$$(20)\ \tau : Pow(\lambda(t_i) \cap S) \mapsto Pow(\lambda(t_{i+1}) \cap X)$$

$$(21)\ B \equiv co \times di \times tr \,/\, co = \bigcup_{i=1}^{n} co_i$$

$$(22)\ \iota : \lambda(t_i) \cap Pt \mapsto \lambda(t_i) \cap B)$$

$$(23)\ \omega : (Pow(\lambda(t_i) \cap X)) \times (\lambda(t_i) \cap M) \mapsto Pow(\lambda(t_i) \cap W)$$

$$(24)\ \sigma : Pow(\lambda(t_i) \cap B) \mapsto \lambda(t_i) \cap E$$

(1) Un modelo m de PTT es una tupla que consiste de los siguientes treinta y siete elementos ordenados: el tiempo T, los planetas similares a la Tierra P ($E \in P$, en el cual E es la Tierra), las condiciones climáticas W, los objetos O, la litología s, los datos geológicos g, los datos paleontológicos p, los datos biológicos b, los datos paleoclimáticos c, los datos orogénicos m, los datos sismológicos e, los datos vulcanológicos v, las placas tectónicas Pt, las configuraciones de las placas X, los ejes de rotación de las placas A, las velocidades angulares de las placas V, el eje magnético del planeta M, las corrientes internas de convección C, las fronteras convergentes entre placas co, las fronteras divergentes entre placas di y las fronteras de cizalla entre placas tr. λ es un localizador temporal que determina el tiempo geológico. α es una función que le asigna a cada planeta similar a la Tierra un conjunto de objetos sobre su superficie. β es una función que le asigna a cada planeta un conjunto de condiciones climáticas. γ es una función que le asigna a cada planeta similar a la Tierra una descripción de la evidencia litológica, paleontológica, biológica y paleoclimática. ρ es una función que le asigna a los efectos de ciertas condiciones climáticas actuando sobre ciertos objetos en un tiempo geológico dado una cierta evidencia en un tiempo geológico posterior. κ es una función que le asigna a cada planeta similar a la Tierra una cierta evidencia orogénica, sismológica y vulcanológica. δ es una función que le asigna a cada planeta similar a la Tierra un conjunto de placas tectónicas. η es una función que le asigna a cada planeta similar a la Tierra un conjunto de corriente de convección interna. ε es una función que le asigna a cada placa tectónica una cierta configuración sobre la superficie del planeta. ϕ es una función que le asigna a cada placa tectónica un estado de

movimiento. τ es una función que le asigna al conjunto que representa los estados de movimiento de las placas de un planeta similar a la Tierra en un cierto tiempo geológico un conjunto que caracteriza la configuración de las placas tectónicas en un tiempo geológico posterior. ν es una función que le asigna a cada conjunto de corrientes de convección internas un conjunto que caracteriza el estado de movimiento de las placas tectónicas. ι es una función que le asigna a cada placa tectónica un conjunto de fronteras. ω es una función que le asigna a cada conjunto de configuración de placas y configuración de eje magnético un conjunto de condiciones climáticas distribuidas sobre la superficie del planeta. σ es una función que le asigna a cada conjunto de fronteras de placa un conjunto de efectos que resultan de las interacciones entre las placas en las fronteras.

(2) El conjunto T es isomorfo con un segmento de los números naturales $\mathbb{N}$ en el cual cada elemento representa un tiempo geológico. Como la teoría hace alusión al pasado para dar cuenta de la evidencia en tiempos geológicos posteriores, la cardinalidad de T debe ser mayor que 1.

(3) $\lambda(t_i)$ es el conjunto de entes existentes en el tiempo t_i.

(4) Sobre el conjunto O de objetos se puede definir una partición en la cual cada clase de equivalencia o_i representa el conjunto de objetos sometidos a diferentes condiciones climáticas en una cierta región. Sobre cada o_i se puede definir una partición donde cada clase de equivalencia o_j representa a los objetos sometidos a las mismas condiciones climáticas.

(5) La función α le asigna a cada planeta similar a la Tierra P un conjunto de objetos organizados por regiones climáticas en cada continente u océano.

(6) Sobre el conjunto W de condiciones climáticas se puede definir una partición en la cual cada clase de equivalencia w_i representa el conjunto de condiciones climáticas en un continente u océano. Sobre cada w_i se puede definir una partición en la cual cada clase de equivalencia w_j representa las diferentes condiciones climáticas en un continente u océano.

(7) La función β a cada planeta similar a la Tierra P un conjunto de condiciones climáticas organizadas por región en cada continente u océano.

(8) Cada elemento del conjunto de las trazas R es una tupla que representa la evidencia asociada con cada planeta. Cada elemento de esta tupla es a su

vez una tupla que representa la evidencia asociada con cada continente u océano. Cada elemento de esta última tupla es también una tupla donde cada elemento representa los diferentes tipos de evidencia asociados con una cierta región climática dentro de un continente u océano.

(9) El conjunto E representa la evidencia orogénica, sismológica y vulcanológica y se construye tomando el producto cartesiano entre los conjuntos m, e y v que describe esta evidencia. Sobre el conjunto de la evidencia sismológica e se puede definir una partición tal que cada clase de equivalencia representa los diferentes tipos de terremoto e_i.

(10) La función γ le asigna a cada planeta similar a la Tierra P una descripción especial en términos de sus trazas R.

(11) La función ρ le asigna a una pareja de objetos O y condiciones climáticas actuando sobre estos en u n tiempo t_i W una descripción de las trazas R a un tiempo geológico posterior t_{i+1}.

(12) La función κ le asigna a cada planeta similar a la Tierra P una descripción de la evidencia orogénica, sismológica ay vulcanológica.

(13) La función δ le asigna a cada planeta similar a la Tierra P un conjunto de placas tectónicas Pt.

(14) La función μ le asigna a cada planeta similar a la Tierra P un eje magnético M.

(15) La función η le asigna a cada planeta similar a la Tierra P un conjunto de corrientes de convección internas C.

(16) La función ε le asigna a cada placa tectónica Pt una configuración X sobre la superficie del planeta.

(17) El conjunto que representa el estado de movimiento de las placas S se forma tomando el producto cartesiano entre el conjunto que contiene los ejes de rotación de las placas con el conjunto que contiene sus velocidades angulares V.

(18) La función ϕ le asigna a cada placa tectónica Pt un estado de movimiento S.

(19) La función ν le asigna a cada conjunto que representa las corrientes de convección asociadas con un planeta C un conjunto que representa el estado de movimiento S de las placas tectónicas del planeta.

(20) La función τ la asigna al conjunto que representa el estado de movimiento de las placas tectónicas en un tiempo geológico t_i un conjunto que representa las nuevas configuraciones X que adoptan las placas a un tiempo geológico posterior t_{i+1}.

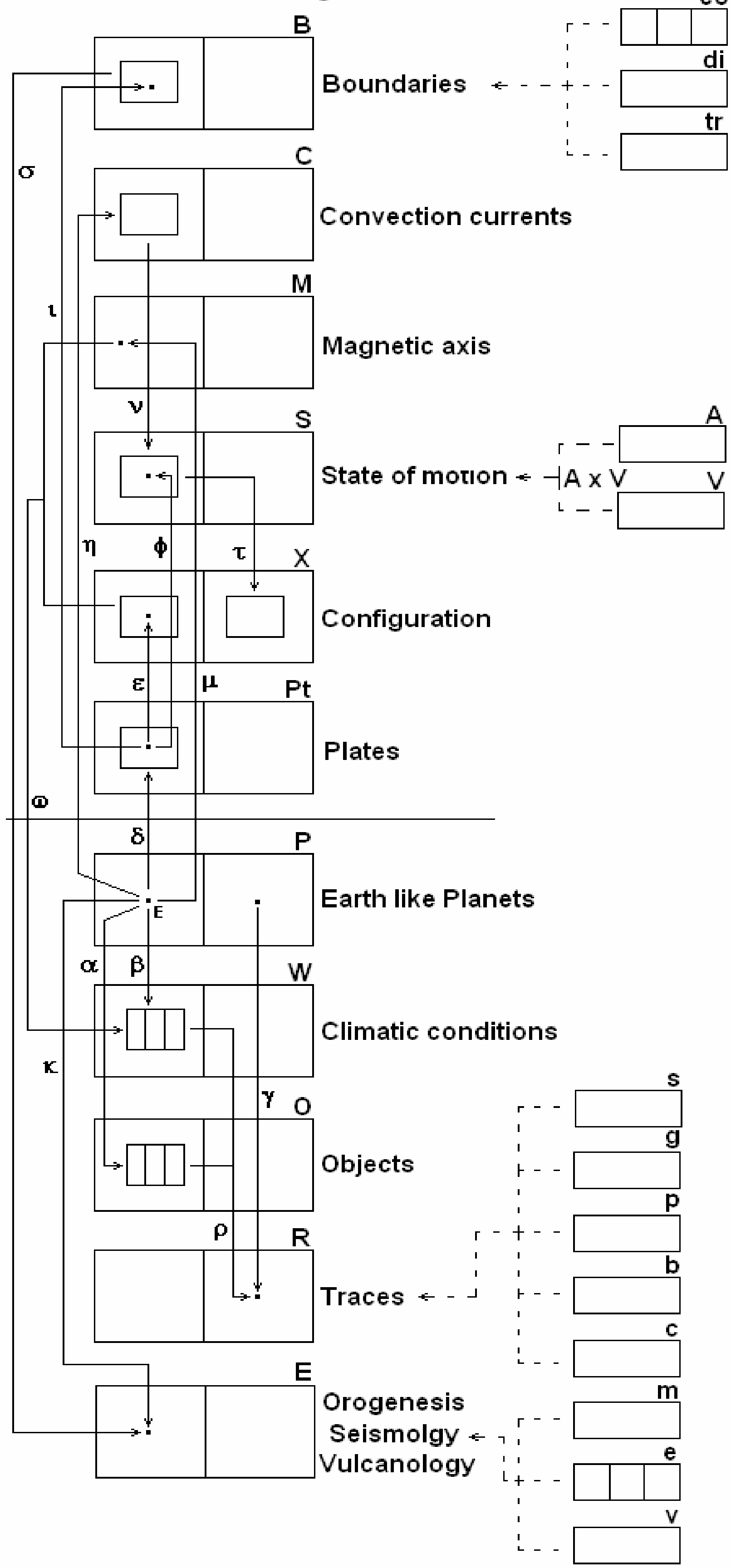
(21) El conjunto B de la fronteras asociadas con las placas tectónicas se forma tomando el producto cartesiano entre los conjuntos que contienen los diferentes tipos de placa convergentes co, divergentes di y de cizalla tr. Sobre el conjunto de fronteras convergentes co se puede definir una partición tal que cada clase de equivalencia representa cada uno de los diferentes tipos de frontera convergente co_i.

(22) La función ι le asigna a cada placa tectónica Pt un conjunto de caracterización en términos de sus fronteras B.

(23) La función ω le asigna a cada configuración relativa entre las placas X y el eje magnético M un conjunto de condiciones climáticas W distribuidas sobre el planeta.

(24) La función σ le asigna a cada conjunto de fronteras de placa tectónica B un conjunto de efectos E caracterizado por una tripleta que representa la evidencia orogénica, sismológica y vulcanológica.

Set Diagram of the PTT



Bibliografía

1) Balzer, W.; Moulines, C.U.; Sneed, J.; **An Architectonic for Science**; D. Reidel Publishing Dordrecht; 1987.
2) Darden, Lindley; **Theory Change in Science**; Oxford University Press; N.Y.; 1991.
3) Diez, J. A.; Moulines, C.; **Fundamentos de filosofía de la ciencia**; Editorial Ariel; Barcelona; 1999.
4) Dugas, René; **A History of Mechanics**; Dover, N.Y.; 1988.
5) Hacking I.; **Representing and Intervening**; Cambridge University Press; Londos, 1983
6) Hempel, Carl G.; **Philosophy of Natural Science**; Prentice-Hall; N.J.;1966.
7) Kitcher, Philip; **The Advancement of Science**; Oxford University Press; Oxford; 1993.
8) Kuhn, Thomas; **The Structure of Scientific Revolutions;** University of Chicago Press; Chicago; 1970.
9) Lakatos, I.; *La falsación y la metodología de los programas de investigación científica*; **La crítica y el desarrollo del conocimiento: Actas del Coloquio Internacional de Filosofía de la Ciencia celebrado en Londres en 1965**; Grijalbo; Barcelona; 1975.
10) Laudan, Larry; **Progress and its Problems**; University of California Press; Berkeley;1977.
11) Lipschutz, S.; **Teoría de conjuntos**; McGraw-Hill/Interamericana de México; México D.F.; 1994.
12) McKenzie, D.; Parker, R.; *The North Pacific: an Example of Tectonics on a Sphere*; Nature; Vol. 216; December 30, 1967.
13) Morgan, W.; *Rises, Trenches, Great Faults, and Crustal Blocks*; Journal of Geophysical Research; Vol. 73; No. 6; March 15, 1968.
14) Moulines, C.; **Exploraciones metacientíficas**; Alianza Editorial; Madrid; 1982.

15) Newton, Isaac; **The Principia**; Motte, Andrew (trad.); Prometheus Books; N.Y.; 1995.

16) Oreskes, N.; *From Continental Drift to Plate Tectonics*; *in* **Plate Tectonics: An Insider's History of the Modern Theory of the Earth**; N. Oreskes Editor; Perseus Publishing; Boulder, CO; February 2003

17) Pérez, Ana R.; **Kuhn y el cambio científico**; Fondo de Cultura Económica; México; 1999.

18) Putnam, Hilary; *The Corroboration of Theories*; in Schilpp, P.A.; The Philosophy of Karl Popper; Open Court; La Salle, Illinois; 1974; pp.221-240.

19) Russell, B.; Appearance and Reality; **The Problems of Philosophy**; Oxford University Press; Oxford; 1912).

20) Shapere, Dudley; *Scientific Theories and their Domains*; in Suppe, F. (Ed); **The Structure of Scientific Theories**; University of Illinois Press; Urbana; 1974.

21) Suppe, Frederick; **The Semantic Conception of Theories**; University of Illinois Press; Chicago; 1989.

22) Wegener, A.; **The Origin of the Continents and Oceans**; Dover; N.Y. 1966.

Luis E. Acevedo