



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

PSICOLOGÍA

MODELOS MATEMÁTICOS Y TEORÍA DE LA MEDIDA
EN PSICOLOGÍA:
PERSPECTIVAS HACIA UNA INTEGRACIÓN CIENTÍFICA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN PSICOLOGÍA

P R E S E N T A

JORGE LUÍS GARCÍA VELASCO

JURADO DE EXAMEN

TUTOR: LIC. VÍCTOR MANUEL MAGDALENO MADRIGAL

COMITÉ: DR. ALEJANDRO VALDÉS CRUZ
DR. JOSÉ GABRIEL SÁNCHEZ RUIZ
LIC. ELIEZER EROSA ROSADO
LIC. ALMA PATRICIA FERNÁNDEZ ORTEGA



MÉXICO, D. F.

2010



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 esta 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.

Índice general

Resumen	1
Introducción	2
1. Modelos Matemáticos y Medición	5
1.1. Teoría de la Medición	9
1.2. Objeto de estudio y fragmentación en Psicología	12
2. De las moléculas a la organización social	18
2.1. Los niveles	18
2.2. La integración	21
2.3. Ontología y representación	26
2.4. Recapitulando la medición	29
3. El bucle del lenguaje	31
3.1. El lenguaje	32
3.1.1. Nature vs. Nurture	33
3.1.2. En busca de lo universal	34

3.2. Sistemas dinámicos y lenguaje	36
3.3. Planteamiento del problema	43
3.4. Objetivos	44
4. Método	45
4.1. Categorías de análisis	45
4.2. Técnicas de análisis	45
5. Conclusiones	50
Referencias	57
Apendice	60
A. Conceptos	60

Resumen

En Psicología se han desarrollado distintos puntos de vista teóricos. Sin embargo, el lenguaje en que se han formulado las teorías no favorece la unificación de puntos de vista. La necesidad de un marco teórico general, en el cual se puedan comunicar tanto la academia como el campo profesional, requiere que la formulación teórica sea coherente. En este caso, se propone que la matemática y sus desarrollos son medios por los cuales se puede alcanzar un mismo lenguaje entre teorías. Consecuentemente, se añade la naturaleza del lenguaje desde un punto de vista dinámico. Así, la formalización del estudio en los distintos niveles que atañen a la Psicología, es un medio para la integración teórica en Psicología. Finalmente se encuentra que la Psicología puede llegar a ser tratada de la misma forma que la Biología y la Física, en lo que respecta al grado de formalidad y entendimiento, sólo que resulta más difícil por la brecha que hay entre los sistemas con alguna forma simbólica y los sistemas meramente Físicos y Biológicos.

Introducción

—Protologos: mi punto de vista, Doutatomas, es que la sonoridad es lo que nosotros oímos de la intensidad del sonido. La sonoridad es una dimensión psicológica, muy relacionada con la intensidad física del sonido, pero distinta de ésta ...mi murmullo era mucho más suave que mis voces.

—Doutatomas: Ciertamente lo era.

—Protologos: ¿En que cantidad más suave? ¿La mitad? ¿Una centésima? ¿Una millonésima?¹

En Psicología existen diversos puntos de vista, algunos tienden por lo humano y social, y otros por lo biológico y natural. En el campo profesional existen diferencias, por ejemplo, un psicoanalista tradicional tendría dificultades para comunicarse en alguna colaboración con un conductista. Los marcos teóricos de cada punto de vista pueden llegar a ser incommensurables, pues los conceptos de una teoría no tienen el equivalente en los conceptos de otra. Por lo cual una redefinición de Psicología es necesaria. La dificultad para un mismo marco de referencia radica en que los que hacen las teorías cuentan con una noción y una definición de lo que es lo psicológico, que en muchas ocasiones puede diferir de lo que otros pueden pensar. Los objetos *físicos* son fáciles de identificar, no existe mayor deferencia en su calificación. En circunstancias normales todos pueden identificar un sólido o un líquido, sin embargo, alguien puede tener dificultades para referirse a lo que considera como mente o psicológico. No se puede asegurar que alguien piense lo mismo de una narración en circunstancias similares, no se puede asegurar que los organismos tengan un contenido mental similar o asegurar qué tanta es su diferencia. La manera en que la ciencia aborda los fenómenos para su estudio oscila entre generar hipótesis, diseñar medios para su comprobación (como la experimentación), y generar teorías que expliquen o liguen los fenómenos. Pero si los conceptos utilizados para la formulación de hipótesis no son útiles para describir los fenómenos reales, entonces cualquier formulación para su comprobación estará destinada al fracaso, pues si no existe un referente real existente en el mundo, no tendrá sentido formular un experimento ni mucho menos una teoría. Por otro lado, otras disciplinas científicas se han apoyado en definiciones empíricas y teóricas, las cuales influyen en la formulación de nuevas hipótesis, dando así una relación cíclica entre hipótesis, investigación empírica, y teoría. Entre las herramientas utilizadas en el desarrollo de la ciencia se encuentra la

¹Fragmento de una conversación de los tiempos de Aristóteles, citada en Jáñez (1989)

matemática, esta ha servido para dar formalización a las teorías, y para definir o descubrir nuevas maneras de abordar los fenómenos. De este modo en Psicología se pueden considerar dos cambios que reformularon su estructura: el primero fue la introducción del método experimental y el segundo fue la introducción de herramientas matemáticas.

La Psicología Matemática (PM) ha servido para potenciar el conocimiento empírico y llevarlo a un nivel conceptual. La PM paso de los Modelos Matemáticos (MM) a los Modelos de Simulación (MS), que mediante expresiones matemáticas y programas de computadora, representan procesos de aprendizaje, percepción, memoria, motivación, pensamiento, comprensión del lenguaje, razonamiento, etc. La definición de PM se encuentra por su afinidad conceptual y por los temas de los que se ocupa. Por su afinidad conceptual: a) consiste en el tratamiento cuantitativo de los temas psicológicos, b) como la intersección de las matemáticas y la Psicología, c) la creación y análisis de MM que representan fenómenos, procesos o estados psicológicos, d) creación y análisis de MM y MS que representan el objeto o el fenómeno de estudio; capaces de recoger, predecir y explicar las propiedades de éste. Por los temas de los que se ocupa: a) los MM para áreas concretas y clásicas de la psicología, b) MM propios de la PM (e. g. modelos de medición) o que son enfoques generalizadores de problemas clásicos de la psicología (e. g. teoría de detección de señales), c) temas de carácter instrumental que proceden de las matemáticas (e. g. álgebra o probabilidad) o que han sido elaborados dentro de la misma PM como el análisis factorial (Jáñez, 1989).

Se menciona marcadamente la matemática porque ella puede ser un medio por el cual encontrar un marco congruente para lo psicológico. Ya que una de las objeciones para la formulación de una teoría unificada en Psicología radica en que el lenguaje utilizado para formular cualquier teoría depende de un contexto sociocultural, y por ello, cualquier teoría tendrá impregnada la influencia de la cultura en la cual el investigador radique, así, las teorías serán incommensurables impidiendo la formulación de una teoría unificada. Tal objeción puede saldarse al considerar la posibilidad de que exista un conjunto de términos y de reglas que sean compatibles con cualquier lengua. Por otro lado, una problemática paralela a la formulación de MM en Psicología radica en el nivel que se debe hacer, es decir, en que rango de observación debe de considerarse a lo psicológico. Por ello es que se mencionan algunas aproximaciones a los niveles y a la representación.

Así, en el **capítulo uno** se habla de los MM y de la teoría de la medición, culminando con las problemáticas generales de las teorías en Psicología. Además, se hace mención del desarrollo de la Física teórica, debido a que los conceptos matemáticos y los conceptos teóricos en alguna disciplina van evolucionando conforme el desarrollo de la disciplina. Por último,

se menciona la problemática entre la visión computacional y la dinámica, debido a que esto ejemplifica la transición de una visión basada en conceptos formales a otra, pero con diferentes supuestos. En el **capítulo dos** se aborda la problemática de los distintos niveles de observación y la problemática con la caracterización de los objetos como identidades de cada nivel. Se menciona una manera en la que se puede conceptualizar la interrelación entre niveles y finalmente se mencionan algunas características propias de cada tipo de sistema físico, biológico y psicológico. En el **capítulo tres** se aborda el lenguaje considerando que la posibilidad de un marco común entre las culturas e incluso entre algunos animales, permite que se resuelvan algunas problemáticas entre teorías. Se aborda el lenguaje como un sistema dinámico, debido a que de esta manera, el lenguaje tiene un origen en común entre culturas y entre individuos humanos. Y finalmente se deja en entredicho la problemática relacionada a los significados o contenidos, ya que ellos representan un salto entre lo puramente biológico y lo psicológico. El **capítulo cuatro** contiene la parte del método y los resultados en forma de enunciados. El **capítulo cinco** contiene una breve discusión y las conclusiones del trabajo.

Capítulo 1

Modelos Matemáticos y Medición

Un Modelo Matemático (MM) es una relación matemática que describe alguna situación del mundo real (ver anexo para una mayor descripción). El modelado matemático consiste en tomar un problema del mundo real, escribirlo como equivalente a un problema matemático, dar una solución al problema matemático e interpretar su solución en términos del problema en el mundo real, y ver con qué alcance la solución es válida en el contexto del problema del mundo real. La ventaja de los MM sobre otras formas de teorías radica en su generalidad, su precisión y su poder deductivo. Utilizando el lenguaje de las matemáticas se pueden formular teorías psicológicas de una manera que es a la vez general y precisa. Más aún, empleando derivaciones lógicas, el investigador puede encontrar las consecuencias de sus hipótesis, algunas de las cuales pueden no ser del todo evidentes.

Cuando A implica B , se dice que A es una *condición suficiente* de B , mientras que B es una *condición necesaria* de A ; estos términos se explican por sí mismos, porque A tan sólo implica B , mientras que B es necesario para A en el sentido de que la negación de B implica la negación de A . Así, un MM es condición suficiente para la existencia de las características de los datos, mientras que las características de los datos son condiciones necesarias para la validez del modelo. De modo similar, se dice que el modelo M_1 es más débil o más general que M_2 (se dice que M_2 es más fuerte o un caso particular de M_1) si M_2 implica M_1 , o lo que es lo mismo, si el rechazo de M_1 implica el rechazo de M_2 . Los modelos generales tienen la propiedad de que, si son rechazados, todos sus casos particulares también lo son (Coombs, Dawes & Tversky, 1970).

En el desarrollo de la Física se ha consolidado la aplicación de las matemáticas. La matemática

y sus aplicaciones no aparecen como un todo culminado, más bien surgen como un marco teórico que se desarrolla y evoluciona. Por ejemplo, los griegos no alcanzaron a concebir los números reales, en su lugar se contentaron con la precaria noción de magnitud $\mu\epsilon\gamma\epsilon\theta\omicron\varsigma$, que nunca definieron, que para ellos sustituyó lo que hoy son los números reales. Las longitudes eran un tipo de magnitud, las áreas otro, los pesos otro, etc. Los griegos podían tomar en consideración la razón $P_1 : P_2$ entre dos valores cualesquiera de la misma magnitud, y la razón $L_1 : L_2$ para dos valores cualesquiera de otra, y considerar la proporción $P_1 : P_2 = L_1 : L_2$ entre ambas. Pero los griegos no lograron abstraer conceptualmente el producto $P \cdot L$. En el caso particular de que las dos magnitudes fueran longitudes, sí lograron pensar que *existía* un producto, que era un área. Y además si una magnitud era una longitud y la otra un área, existía y se obtenía como producto un volumen. El producto $P \cdot L$ no sólo multiplica los valores numéricos de P y L , sino que también forma una nueva magnitud. En el siglo XIX se extendió este proceso desde las magnitudes de la mecánica a magnitudes de todas las ramas de la Física, en especial las surgidas en electricidad y magnetismo, originando una teoría de las *dimensiones físicas*, donde se entiende lo mismo por magnitud que por dimensión. J. Clerk Maxwell y Fleeming Jenkin introdujeron en 1863 el símbolo $[P]$ para la dimensión de cualquier magnitud P , ya sea simple o compuesta, señalando que una dimensión compuesta $[P_1^{a_1} \cdot P_2^{a_2} \dots P_k^{a_k}]$ donde los exponentes $a_1, a_2, \dots, a_k$ pueden ser cualquier número real. Sin embargo, J. Fourier en la sección IX del capítulo segundo de su *Théorie de la Chaleur*, ya había introducido una breve y sistemática nota sobre dimensiones físicas en la cual decía que los exponentes tenían que ser enteros y diferentes de cero. Un ejemplo es

$$[\text{trabajo}] = [M \cdot L^2 \cdot T^{-2}] \quad (1.1)$$

donde M , L y T son masa, longitud y tiempo respectivamente (Bochner, 1991). El desarrollo de los conceptos en matemáticas posibilita el desarrollo de la ciencia, pues cuando una teoría matemática logra ajustarse y describir algún fenómeno natural el desarrollo tecnológico también incrementa, por ejemplo, el desarrollo del *cálculo* en la mecánica posibilitó desarrollos tecnológicos como la puesta en órbita de satélites artificiales. A su vez el desarrollo de la matemática aplicada a la Física posibilitó la integración de MM desarrollados en campos distintos de la Física, por ejemplo, la equivalencia de la energía térmica con la energía mecánica. En Psicología aún no se logra conceptualizar unidades de medición como las descritas con dimensiones físicas pues las magnitudes o dimensiones físicas se basan en *observables* (entes que se pueden caracterizar por algún efecto observable, como: color, longitud, tiempo.). Los observables comparables, (A) y (B), se dice que son comparables si se puede definir la relación

$$\frac{(A)}{(B)} = n \quad (1.2)$$

siendo n un número cualquiera. La Física sólo se interesa por los observables que son comparables (la longitud de un objeto A puede compararse con la longitud del objeto B , y se puede decir que A es n veces el objeto B), sin embargo, la hermosura o el miedo son observables no comparables (no se puede decir que el miedo de una persona P_1 sea n veces el miedo de una persona P_2). A una magnitud se le considera como el conjunto de todos los observables comparables entre si, y una cantidad es un elemento de ese conjunto. Una unidad U_A de una magnitud es una cantidad $(A_0) = U_A$ elegida arbitrariamente. Al formar las razones, respecto de esta cantidad:

$$\frac{(A_1)}{(U_A)} = A_1, \quad \frac{(A_2)}{(U_A)} = A_2, \quad \text{etc.} \quad (1.3)$$

se puede hacer corresponder, a cada cantidad (A_i) del observable, un número A_i que se llama medida de la cantidad (A_i) , con la unidad U_A . El análisis dimensional en Física tiene que ver con la homogeneidad dimensional de las ecuaciones, es decir, con la idea popular de que no se pueden sumar peras con manzanas (aunque esto no es estrictamente cierto, puesto que tres peras y dos manzanas son cinco frutas).

Debido a la falta de un completo control en los estudios de Biología los investigadores se han conformado con hacer modelos que solamente describen el fenómeno. Los matemáticos y los biólogos teóricos han formulado un amplio repertorio de MM en colaboración con investigadores experimentales en las ciencias biomédicas. Algunos temas de estudio son: la formación de patrones en el desarrollo, la dinámica de interacción de poblaciones en epidemiología, conectividad neuronal y procesamiento de información, el crecimiento de tumores, la interacción marital, etc. (Murray, 2002). Los psicólogos matemáticos o teóricos, también han formulado MM con la posibilidad de describir fenómenos, a partir de datos obtenidos del mundo real, entre los temas que figuran en los modelos son: el aprendizaje, las redes sociales, la percepción, la consciencia, etc. Los MM que más validez han logrado son los que se basan en datos fisiológicos y conductuales. Los datos fisiológicos y conductuales son utilizados como indicadores, no son mediciones de magnitudes psicológicas, sino parámetros que se correlacionan con un fenómeno de interés.

Las técnicas electrofisiológicas como el electroencefalograma (EEG) o el magnetoencefalograma (MEG) son utilizadas como indicadores de funciones psicológicas y para la identificación de patologías. La teoría en sistemas dinámicos aporta formas de analizar las series de tiempo que se obtienen por medio de estas técnicas (Stam, 2005). Por otro lado el movimiento de los cuerpos vivos puede ser modelado con respecto a su ritmo. Por ejemplo, el movimiento rítmico durante alguna conducta estereotipada (Kelso, 1995). Los procesos fisiológicos que se correlacionan con patrones conductuales como en el ciclo sueño-vigilia

(Penzel et al., 2007). La teoría de sistemas dinámicos en la formación de patrones dinámicos está desarrollando modelos para la dinámica intencional, la dinámica del aprendizaje, la dinámica de la percepción, y en general la auto-organización del sistema nervioso y de la conducta (Kelso, 1995).

La modelación de sistemas puede ser cuantitativa o cualitativa. La modelación cuantitativa se refiere a un grupo de investigaciones que requieren de datos y la formulación de un modelo, por lo regular los datos son series de tiempo. La modelación cualitativa puede sin la necesidad de series de tiempo, trabajar con MM que se asemejan cualitativamente al fenómeno estudiado. Este tipo de estudio ayuda a formular nuevas formas de aproximarse empíricamente al fenómeno estudiado, y además, provee de hipótesis que pueden ser contrastadas empíricamente para ajustar el modelo (Gelder & Port, 1995). Ante la problemática de lo cuantitativo y lo cualitativo se considera que los términos **cantidad** y **cualidad** tendían a oponerse como antitéticos en la Edad Media, pero en la filosofía griega no sucedió así. Aristóteles menciona ambas nociones como *categorías*, que si bien eran diferentes no eran contrarias, y además, Aristóteles consideraba otras categorías adicionales a éstas. En la ciencia moderna la noción de lo cuantitativo se orienta sólo a su determinación como tal, es decir, la asignación de números reales a determinadas cantidades. Y a lo cualitativo, o *todavía no-cuantitativo*, se le considera sólo a lo que pretende ser heurísticamente clarificador, es decir, aquello que sólo puede diferenciarse de lo otro (Bochner, 1991).

Para la formulación de un MM se toma un conjunto de variables y de parámetros. Las variables y los parámetros se definen por medio de una teoría sobre el fenómeno de estudio, por ejemplo, la formulación de una teoría en términos de estímulos y respuestas depende de una teoría psicológica del aprendizaje como el condicionamiento operante. Para el MM, también se requiere establecer relaciones entre las variables y los parámetros. La definición de las variables y de sus relaciones depende de un marco teórico y de datos empíricos, finalmente; de la combinación de la teoría, de los datos y del MM surgen implicaciones que pueden redefinir las teorías y los modelos, como también los diseños de las investigaciones para la obtención de datos. Para poder realizar un MM, desde el punto de vista del autor, se deben considerar tanto la teoría de la medición como la situación teórica en Psicología.

1.1. Teoría de la Medición

Siguiendo a Coombs, Dawes y Tversky (1970), el proceso mediante el cual los científicos representan propiedades por medio de números se llama *medición*. La determinación de los diversos tipos de medición y la explicación de su significado, constituye el objeto de la Teoría de la Medición (TM). El objetivo de la TM es el análisis lógico del proceso de medición y se interesa por la justificación de diversos procedimientos de medición y la significación de sus resultados. Por ejemplo, si x, y y z son objetos físicos con peso, cabe concatenar objetos colocándolos juntos en una balanza, de tal forma que de un lado se encuentre $x \circ y$ y del otro z , así $x \circ y \succeq z$, dado esto se podría construir una escala de medida p que asigne un número $p(x)$ a cada objeto x , tal que $p(x) \succeq p(y)$ si y sólo si $x \succeq y$, como también que $p(x \circ y) = p(x) + p(y)$. De esta forma, a la escala de peso, se le exige que refleje el orden de gravedad entre los objetos y que satisfaga la propiedad de adición, en el sentido de que el peso asignado a una combinación de objetos sea igual a la suma de los objetos concatenados. Algo similar se ha tratado de hacer en las ciencias sociales, comúnmente conocido como orden de preferencias, $x \succeq y$ simboliza un juicio de preferencias, entre dos candidatos, en el cual y no es tan preferido como lo es x . Suponiendo que el individuo no sólo ordena candidatos sino también diferencias entre ellos, y que $(x, y) \succeq (z, w)$ denota la afirmación de que la diferencia entre z y w no excede la diferencia entre x e y . Dadas estas ordenaciones, se desea construir una escala de utilidad para el individuo en cuestión, que asigne un número $u(x)$ a cada candidato, tal que $u(x) \succeq u(y)$ si y sólo si $x \succeq y$, $u(x) - u(y) \succeq u(z) - u(w)$ si y sólo si $(x, y) \succeq (z, w)$. Por consiguiente, la escala de utilidad debe reflejar tanto la ordenación de los candidatos como la de las diferencias o intervalos entre candidatos.

El proceso de medición involucra los siguientes problemas:

a) El Problema de la Representación (PR) en TM es un caso particular de un problema más general de la representación. Siempre que se mide alguna propiedad, se construye en cierto modo, un modelo numérico sencillo, es decir un modelo basado en un sistema común a los números reales. Hablando sin rigor, un sistema formal se dice que es modelo del mundo si refleja su estructura o representa sus rasgos esenciales. Para que se entienda mejor esto es necesario definir primero qué es un Sistema Relacional. Un Sistema Relacional (SR) es simplemente una relación de objetos con una o más relaciones definidas entre ellos. Fundamentalmente, un SR es una sucesión $\langle A, R_1, \dots, R_n \rangle$ donde A es un conjunto no vacío y $R_1, \dots, R_n$ son relaciones definidas entre los elementos de A . Un SR se dice empírico si sus

objetos son de naturaleza empírica y se dice formal si sus objetos son entidades formales, tales como números o puntos. SR sencillos del tipo $\langle A, R \rangle$ con una sola relación binaria, es decir, una relación definida entre pares de puntos. Un ejemplo de SR empírico; sucede cuando A puede ser un conjunto de objetos y R la relación *más pesado que*. En éste caso R está definida para todo par de números reales x e y , por xRy si y sólo si $x > y$. La relación entre el mundo y su modelo se puede ver como una correspondencia entre un SR empírico y un SR numérico. En otras palabras, los procesos de construcción del modelo y la medición se describen como una representación de sistemas empíricos mediante sistemas formales.

De modo formal, se dice que, un sistema $\alpha = \langle A, R \rangle$ está *representado* por otro sistema $\beta = \langle B, S \rangle$ si existe una función f de A en B , la cual asigna a cada x en A una única $f(x)$ en B , tal que para cualesquiera x, y en A

$$xRy \rightarrow f(x)Sf(y) \quad (1.4)$$

así, α está representada por β si existe una correspondencia f que aplica A en B , de modo que si la relación R se da entre algún x y algún y en A , entonces la relacion S se da entre $f(x)$ y $f(y)$ en B , donde $f(x)$ y $f(y)$ son las imágenes de x e y , respectivamente. Además si α representa a β y β a α , se dice que los dos sistemas son isomorfos.

La noción de representación puede generalizarse a sistemas con cualquier número de relaciones y de cualquier orden. Un sistema $\alpha = \langle A, R_1, \dots, R_n \rangle$ se dice que está representado por $\beta = \langle B, S_1, \dots, S_n \rangle$ si existe una aplicación f de A en B tal que, siempre que R_i se de entre una sucesión de elementos de A , S_i se de entre sus imágenes en B . De modo intuitivo, α está representado por β si cualquier cosa que *ocurra* en α está *reflejada* en β , todo objeto en α tiene su correspondiente objeto en β . En este caso se dice que f es una representación de α por β . Un modelo, de está forma, consiste en representar un SR empírico por un SR formal y si el modelo es numérico, la representación se llama medición. De ahí que no toda asignación de números a objetos, de acuerdo con ciertas reglas, pueda considerarse propiamente como medición.

Una de las metas más importantes de la TM es la investigación de las condiciones (o axiomas) bajo las cuales es posible construir diversas representaciones numéricas. Y es esencial que las relaciones entre objetos del mundo estén debidamente reflejadas por las relaciones entre los números asignados a ellos. Un ejemplo de representación está dado bajo el siguiente Teorema:

Sea A un conjunto finito y R una relación binaria conexa en A , es decir, una relación definida para todos los pares de elementos en A . Si R es transitiva, entonces, y sólo entonces, existe

una función u de A en el conjunto de los números reales tal que para todo x e y en A

$$u(x) > u(y) \leftrightarrow xRy \quad (1.5)$$

en el cual se supone que no hay empates, que x e y no son iguales. Se puede empezar encontrando un elemento x_0 en A tal que xRx_0 para todo x en A . Como A es finito y R es transitiva, existe un elemento con esa propiedad. A este elemento se le asigna el valor 0 de la escala, es decir, $u(x_0) = 0$, considerando los elementos restantes de A se encuentra un elemento x_1 en A que cumpla xRx_1 para todo x en A , excluido x_0 . En base a que A , es finito y que R es transitiva, existe un x_1 con esta propiedad, al que se asigna el valor 1 de la escala. Repitiendo el procedimiento se establece que $u(x_i) = i$ hasta agotar el conjunto de objetos en A . Se puede mostrar entonces que en la representación resultante se da $u(x) > u(y) \leftrightarrow xRy$. El análisis formal del PR conduce a la formulación de hipótesis necesarias para justificar una representación numérica dada y al desarrollo de procedimientos de construcción. El análisis empírico del PR tiene como fin contrastar los supuestos subyacentes y suministrar los métodos de construcción para obtener escalas de medida.

b) El Problema de Unicidad (PU): tiene que ver con el estatus de la escala obtenida. Se pretende determinar la libertad disponible en la construcción de la escala y a caracterizar las relaciones entre las diversas escalas numéricas resultantes de un teorema de representación dado.

Cualquier transformación de los valores de la escala que conserve su orden produce otra escala admisible, y dos escalas admisibles cualesquiera están relacionadas por una transformación que conserva el orden, o sea, una transformación monótona. Una transformación que conserva, no sólo el orden, sino también el orden de las diferencias entre ellos y por ende la ordenación de los intervalos (para cualquier conjunto de objetos) es una transformación lineal positiva, esto es a lo que se le considera una escala de intervalos. Esto involucra que una vez seleccionados los valores de la escala, todos los demás están unívocamente determinados. Así pues: si $u(x) = a$ y $u(y) = b$ en el teorema anterior, se sigue del modelo que $u(z) = 2b - a$, así como $u(x) - u(y) = u(y) - u(z)$.

Para esclarecer el PU es necesario definir qué es una Transformación Admisible (TA) de la siguiente manera; sea α un sistema empírico, con un conjunto de elementos A , que está representado por un sistema numérico β con un conjunto de elementos B . Osease, que para cualquier objeto x en A existe un único valor de la escala $f(x)$ en B , donde las relaciones entre los objetos están reflejados por las relaciones entre sus valores de la escala. Una transformación de los valores de la escala se dice admisible si el sistema numérico

obtenido al sustituir B por los valores de la escala transformada también representa al sistema empírico α .

Formalmente sea, $\alpha = \langle A, R_1, \dots, R_n \rangle$ un SR empírico y $\beta = \langle B, S_1, \dots, S_n \rangle$ un SR numérico, donde B denota el conjunto de los números reales. Una transformación T de B en si mismo se dice que es admisible, con respecto a una representación dada f , si la aplicación de f' , definida por $f'(x) = T[f(x)]$ para todo x en A , es también una representación de α por β . Una T de los valores de la escala se dice admisible siempre que conserve la relación de representación entre los sistemas empírico y numérico.

El conjunto de todas las TA determina el tipo de escala de medición. En la escala de razón las TA son las transformaciones de semejanza del tipo $T(x) = ax$ para $a > 0$. Los valores de la escala están determinados unívocamente salvo una unidad de medida arbitraria.

c) El problema de significatividad (PSIG): tiene que ver con la interpretación de la escala de medición. Lo cual resalta que es importante conocer el tipo de escala utilizado para dar una interpretación correcta a los datos. Las inferencias basadas en los valores de la escala deben ser invariantes con respecto a las TA de la escala. De modo análogo, la interpretación y el significado de diversos estadísticos descriptivos dependen del tipo de escala utilizada. A esto último, se puede agregar que; Campbell en 1920 argumentaba que la medición de propiedades psicológicas no puede ir más allá de una escala ordinal. Ya que él solía hablar de medición intensiva y extensiva. La medición extensiva para él se basaba en operaciones de concatenación empírica que se corresponde con la operación aritmética de adición, y si la medición no era de esta forma decía que era intensiva. Finalmente Campbell pensaba que para una medición extensiva se requería de una escala por intervalos, tal cosa para él en psicología era imposible.

1.2. Objeto de estudio y fragmentación en Psicología

La ciencia surge y se desarrolla a partir de la filosofía natural. Consecuentemente, se originan distintas disciplinas, que a su vez, se enfocan en distintas áreas del conocimiento. Como fuerte pilar y ejemplo a seguir se consolidó la Física, sobre todo con la teoría de la mecánica newtoniana; subsecuentemente la Química se consolida con el desarrollo de explicaciones físicas sobre las cualidades químicas; la Biología se consolidó con la síntesis de la teoría evolutiva y con el desarrollo de la Biología Molecular. A su vez, han surgido

subdivisiones que han reemplazado tildes, alrededor de cuestiones, en los distintos campos de estudio anteriores, por ejemplo, se ha desplazado el concepto de calorífico por la noción termodinámica del calor. Así, sucesivamente han aparecido tal grado de diversificaciones que fue necesario el surgimiento de unificaciones en la Física, ejemplo es la misma teoría mecánica de Newton, que unió la mecánica celeste de Kepler con la Física de los cuerpos terrestres de Galileo.

Sin embargo, la Psicología y las ciencias sociales, no han tenido una consolidación clara. Prueba de ello es que no hay una teoría, lo suficientemente estructurada, con la cual se pueda explicar y predecir el comportamiento, de su objeto de estudio con precisión. Causa de la no consolidación es la diversidad de discursos existentes alrededor de algún fenómeno estudiado. Si bien históricamente, el desarrollo de la ciencia ha ido de lo simple a lo complejo, como también de lo abordable, por medio de técnicas y marcos teóricos, a lo que en apariencia no era abordable con anterioridad. Ejemplos son la Fisiología y la Cosmología, la Fisiología de hace sólo dos siglos era más especulativa que experimental, la Cosmología, por otro lado, no habría logrado escapar a las concepciones cosmogónicas e ideológicas sin la ayuda de herramientas desarrolladas en otras ciencias como la Física.

En la actualidad existen varias perspectivas teóricas, de lo que debería ser la Psicología. Pero quizás, la postura predominante en el campo profesional, sea la que considera que la Psicología es una ciencia social. Partiendo de esto se puede decir que el problema comienza desde que se catalogan dos clases de ciencias, las naturales y las sociales. Como también las divisiones dentro del mismo tipo de ciencia, por ejemplo, en las ciencias sociales se habla de una postura metodológica cuantitativa, u otra cualitativa. Sin embargo, no existe un consenso sobre cual es el campo de estudio de la Psicología y su propósito como ciencia, tanto en la academia como en el campo profesional. Por lo cual se consideran algunas ideas al respecto.

Según Yurevich (citado en Zittoun, Gillespie & Cornisa, 2009), el campo de la Psicología está fragmentado en tres dimensiones: una vertical, que se refiere a las distintas escuelas; una horizontal, que se refiere a la división en ciencia natural o ciencia humana; y una diagonal, que divide la Psicología en la investigación y en la práctica.

Se ha pensado que, si se es partidario del racionalismo, donde se dice que el conocimiento dentro de la Psicología podría ser internamente consistente, que podría tener una evolución progresiva y consensuada hacia una gran teoría unificadora de la Psicología. Se diría que la crisis es el acceso a tal unidad. Por otro lado, pudiera ser que, las distintas tradiciones

de investigación sean inconmensurables. Ya que existe una crisis en la práctica de investigación cuando los distintos investigadores no pueden trabajar juntos o hablar acerca de sus trabajos. Además, la práctica multidisciplinaria, en la cual se requiere de psicólogos especializados en distintos tipos de temas, por ejemplo, que sepan lo que pasa a nivel cerebral, experiencia psicológica, interacción social e intuiciones. En otras palabras en la colaboración profesional. La descripción racionalista es considerada como estática. Hablar acerca de una fragmentación es asumir que existe una *grand narrative* coherente y lógica detrás de las partes fragmentadas. Pero quizás no exista ese gran esquema. Por otro lado, los niveles en los que se aborda el estudio son de intereses múltiples. Y a su vez en cada nivel se forman lenguajes y técnicas propias de estudio, de tal manera que la visión de la fragmentación no es una perspectiva adecuada para superar la crisis. Por ello se ha sugerido que la Psicología como disciplina, no está fragmentada, sino que, se encuentra en periodo de diferenciación a raíz de la crisis en la que se encuentra. Y se ha considerado que en el dominio de la evolución de las ciencias, las crisis, pueden conducir a la extinción de la disciplina, como en la Alquimia o en la Astrología, o por otro lado puede conducir a una diferenciación tal como la proliferación de subdisciplinas (Zittoun, Gillespie & Cornish, 2009).

Por otro lado, se puede argumentar que la Psicología no es una ciencia coherente e íntegra, y declarar que la Psicología se ha fraccionado en una diversidad de especialidades en lugar de integrarse en un solo campo. Y mencionar que la inconmensurabilidad siempre está presente, los términos técnicos de cada especialización no son agrupables en una sola categoría. En cuanto a los estudios relacionados a las neurociencias, entre ellas, la Psicología como ciencia natural y biológica, se puede decir que la mayor parte de psicólogos se orientan hacia lo humano y social, y tal perspectiva no sería conmensurable con el campo y los estudios psicológicos. Y por lo tanto no habría tal integración en Psicología (Koch, 1993).

Pese a este tipo de ideas se ha intentado unificar a la Psicología por medio de las siguientes propuestas: el conductismo funcional, por Gregory Kimble (1996), propone cinco principios en analogía a principios newtonianos, los cuales podrían proveer un marco para la unificación en Psicología; Norman Anderson (1996), ofrece una teoría funcional de la cognición, la cual versa sobre la integración de la información, y desarrolla una teoría funcional de medición para el plano humano, un álgebra cognitiva, y la aplica a diversas áreas de la Psicología; Sternberg y Grigorenko (2001), ofrecen una Psicología unificada, la cual definen como el *Estudio Multiparadigmático, Multidisciplinario e integrado de fenómenos psicológicos a través de operaciones que convergen*, argumentan que el campo de estudio podría ser organizado por medio del objeto de estudio, oponiéndose a disciplinas específicas, escuelas particulares de pensamiento o metodologías únicas; Staats (1963-1996), propone el

conductismo psicológico, el cual intenta construir un puente entre los distintos campos de la ciencia conductual, entre el conductismo y la Psicología tradicional (Henriques, 2003).

Henriques (2003) piensa que éstas anticipaciones no son suficientes, por lo cual llama a un marco epistemológico claro, desde donde se pueda crear un escenario para definir una Psicología clara y unificada. Considera la Psicología como una ciencia intermediaria entre la Biología y las ciencias sociales. Considera que combinando las ideas de Skinner con la neurociencia cognitiva, se provee de un marco para el punto de unión entre la vida y la mente. Y combinando esto con las ideas de Freud provee un punto de unión entre la mente y la cultura. Concluye diciendo que estos puntos de unión teóricos colocan a la Psicología en un lugar propio, y a su vez, proveen de un marco teórico unificado. Se inmiscuye en los principales fallos de las ideas de Skinner, como son: a) que pensaba que no era necesaria una explicación neurofisiológica de la conducta, b) que pensaba que el fin último de la ciencia pura era lograr controlar el comportamiento, c) la ambigüedad sobre la definición de conducta.

La definición más general de conducta es el cambio en una relación objeto-campo. En este sentido todas las ciencias son de la conducta. La Física sería la ciencia del comportamiento de los objetos en general, consecuentemente las demás ciencias estudian la conducta de ciertos objetos en particular. Así, la definición de Psicología como la ciencia que estudia la conducta es problemática. Propone la idea de una *singularidad coordinada* para reemplazar la definición, muy mencionada por Skinner, de la conducta como un todo. Y considera que la unión entre lo conductual y lo cognitivo radica en que la base de la coordinación es el sistema nervioso. Análogamente a la síntesis de la teoría evolutiva en Biología, la unificación del conductismo con la teoría de la información en la neurociencia cognitiva podría ser un primer paso hacia la unificación. Para eso propone la Teoría de la Inversión Conductual (TIC), es una teoría conceptual del sistema nervioso, y a la vez, una proposición formal para un punto de unión teórico entre la vida y la mente. El planteamiento central de la TIC radica en el gasto eficiente de energía, de tal manera que se liga la Psicología con la Química, la Física y la Biología. Finalmente propone, un enlace entre la Psicología y la Ciencia Social, partiendo de algunas problemáticas de las ideas de Freud para dirigirse a cuestiones relacionadas al lenguaje y las mentes animales, como también a la noción del yo como un sistema de justificación.

Sin embargo, haciendo un recuento, a Henriques se le olvida mencionar que la mayor parte de las unificaciones han estado mediadas por un *lenguaje*, que generalmente es el de la matemática. Por otro lado, Zittoun y colaboradores, si consideran la problemática del

lenguaje, y se aventuran, al decir, que una unificación tal vez no sea apropiada, sino más que eso se pretendería una aceptación de la diferenciación. Por último, Koch dice algo que debe ser considerado, pues la mayor parte de psicólogos consideran que la Psicología se orienta por lo humano y lo social. Tal orientación es uno de los principales impedimentos para que la Psicología logre constituirse como una disciplina científica.

Considerando que la integración de teorías sólo puede ser mediante un mismo lenguaje, será necesario considerar la postura cognitiva de la Psicología. Ya que ha sido una postura que pretendió formalizar el estudio de lo psicológico.

La Cognición ¿Una Computadora o un Sistema Dinámico?

La ciencia cognitiva ha estado dominada por la visión computacional de la mente, esta aproximación considera que la cognición es sólo una operación de una computadora mental localizada en el cerebro. Los órganos sensoriales deliberan hacia la computadora mental representaciones del estado del medio. El sistema computa una especificación de una acción apropiada y finalmente el cuerpo lleva a cabo esa acción en el medio. Las representaciones son entendidas como estructuras estáticas de símbolos discretos. Las operaciones cognitivas son transformaciones de una estructura simbólica estática a la siguiente. Las transformaciones son discretas, instantáneas y secuenciales. La computadora mental se puede quebrantar en un número de módulos responsables de diferentes tareas de procesamiento de símbolos. Un módulo lleva una representación simbólica como inputs y computa representaciones simbólicas como outputs. En la periferia del sistema los inputs y outputs son transducidos: dicho sistema transforma la estimulación sensorial en un input de representaciones, y el output de representaciones en movimientos físicos. El sistema completo, y cada uno de sus módulos, opera cíclicamente: input, manipulación del símbolo interno, y output (Gelder & Port, 1995).

Existen otras alternativas, como el conexionismo y la dinámica. El conexionismo pretende describir y explicar la cognición por medio de redes neuronales. La aproximación dinámica parte de la idea de que los procesos cognitivos suceden en un tiempo continuo. Esto viene siendo la aplicación de las herramientas matemáticas de la dinámica para el estudio de la cognición. La dinámica proporciona una vasta fuente de potentes conceptos y herramientas para modelar. Así los sistemas cognitivos no son una computadora, sino sistemas dinámicos.

El sistema cognitivo no se considera una manipulación secuencial y discreta de estructuras con representaciones estáticas. La aproximación dinámica considera a la cognición como una estructura de mutuos y simultáneos cambios que se influyen entre si. La aproximación dinámica no es una idea nueva, ha estado como por debajo del agua en la ciencia cognitiva desde los inicios de su campo. Los modelos dinámicos están incrementando en Psicología cognitiva y en algunas áreas de la lingüística. Homologa a la hipótesis computacional la hipótesis dinámica forma una infraestructura dentro de la cual pueden ser construidas teorías que detallen aspectos particulares de la cognición. Las cuales pueden ser verificadas o refutadas, pero, hasta la fecha la cognición no puede ser medida directamente. Hablando sin rigor, los sistemas dinámicos son sistemas con estados numéricos que evolucionan sobre el tiempo de acuerdo a una regla. Un sistema dinámico se encuentra gobernado por ecuaciones diferenciales con n aspectos (posición, masa, etc.) evolucionando simultáneamente y continuamente. Cada uno de estos aspectos, en un punto dado, puede ser medido y representado por un número real (Gelder & Port, 1995). Así, en cuanto a la cognición, se pueden tomar indicadores como el EEG y la correlación de conductas a procesos psicológicos hipotéticos.

Los científicos cognitivos dinámicos aseveran que la cognición es un fenómeno natural que puede ser formulado como un sistema dinámico. Esta es la idea en general de la hipótesis dinámica. Demostrar que los sistemas cognitivos son sistemas dinámicos requiere de trabajos en los cuales se pueda tener datos cuantitativos y formas de medición. De tal forma que se puedan obtener trayectorias en un espacio fase conforme alguna regla específica. Estas trayectorias, finalmente, tienen un interés netamente teórico. Por lo cual, si lo que interesa son sistemas cognitivos, entonces las conductas de interés serían *cognitive performances* (percibir, recordar, conversar, etc.), descritas por medio de una regla de evolución. Sólo se podrá saber si la hipótesis dinámica es un hecho real como resultado de muchos trabajos científicos (Gelder & Port, 1995).

Capítulo 2

De las moléculas a la organización social

En la actualidad es común encontrar diversos tipos de estudio sobre el mismo fenómeno, sobre todo cuando se trata de estudiar al *ser humano*. Tales estudios pueden abordar desde su composición microscópica como su dinámica dentro de sistemas más grandes que él mismo. Es amplio el conjunto de disciplinas que pueden converger en ese estudio, pueden ser desde la Físico-química hasta la sociología y la ecología, sin embargo, cada una lo hace de distinta manera y a distinta intensidad. Resulta banal encasillar el estudio del ser humano dentro de una única disciplina. Si bien la Psicología es comúnmente asociada al estudio de la mente y del comportamiento, como también al estudio de aquellos procesos que permiten la interacción de algún organismo vivo con su medio ambiente, no es claro definir los límites de su campo de estudio. Por lo cual es necesario abordar una serie de temáticas que están en relación con el campo de estudio de la Psicología. Tales temáticas son, entre otras, los niveles (tanto de organización, de análisis, y de observación), la integración de niveles, y la naturaleza ontológica de las cosas y su representación.

2.1. Los niveles

Cuando se habla de niveles, por lo regular, se entiende que existe una jerarquía implícita. Tal jerarquía puede estar definida por la naturaleza propia de las cosas o por la arbitrariedad perceptiva de un observador. Este apartado respecta a los distintos niveles de observación

y de análisis, además de sus respectivas implicaciones teóricas. Se diferencia un nivel de observación de un nivel de análisis porque un nivel de observación implica instrumentos para la obtención de datos, tiene la propiedad de ser relativa a los medios, tanto teóricos como técnicos, que se tengan. Un nivel de análisis engloba los medios con los cuales se analizan los datos y la intensidad con la que serán tratados. Tomando, como ejemplo, un estudio clásico de las propiedades eléctricas de la membrana celular del axón gigante del calamar, hecho por Hodgkin y Huxley (1952). En el cual se utilizó una técnica llamada *Voltage-clamp* para manipular las corrientes iónicas internas y externas de la membrana, y así producir dinámicas eléctricas a lo largo del axón. De este estudio surgió la construcción de un MM en ecuaciones diferenciales que describe la dinámica de un potencial de acción. En tal caso, puede decirse que el nivel de observación es celular (o al menos relativo a) y el nivel de análisis se define por la técnica del *voltage-clamp* y la manipulación de los datos, de tal forma que fuese posible la construcción de un MM que describe la dinámica eléctrica iónica.

La división de niveles debería depender de una caracterización ontológica, pero por fines prácticos, en la ciencia por lo regular se conviene en definirlos a priori. La definición de un nivel de observación varía según su contenido, por ejemplo, el nivel celular se define así por que respecta a un objeto de estudio, que en ese nivel son las células y sus propiedades. Si bien, la definición de identidad de un objeto depende de la estructuración de un término, o bien, la estructuración de un término depende de la identidad de un objeto. En otras palabras; las cosas son por si solas o dependen de lo que un observador dice de ellas. Por lo regular tal problemática no es muy considerada al hacer un estudio científico en Psicología, se suele dar por hecho que existen objetos, variables, estados, etc., o que por lo menos existen unidades identificables y con carácter nominal. Por otro lado, se suele encontrar términos relacionados a Niveles de Organización (NO), los cuales se refieren a estructuras espaciotemporales que surgen a partir de gradientes de concentración.

Sin embargo, la mayoría de los neurocientíficos son reduccionistas. Ellos siguen la tesis de la Física clásica, donde los estados macroscópicos pueden ser explicados a través de análisis microscópicos. En la última década del siglo pasado, la mente quedo reducida en la biología molecular, la cual puede ser reducida a la química, que también puede ser reducida a la física, en donde el fin último es encontrar la *partícula de dios*. Sin embargo, no necesariamente toda explicación es reduccionista, de tal manera que explicar todo mediante su composición no es suficiente. En cada nivel de complejidad, aparecen nuevas propiedades, por lo cual la conducta no puede predecirse sólo por el conocimiento de sus componentes. Considerar esto abre problemáticas en cuanto a como construir un puente teórico entre la

Neurociencia y la Psicología, entre lo micro y lo macro. Intentar abordar la completitud de algún sistema como el sistema nervioso es difícil por la imposibilidad de tratar todos los detalles involucrados. Quizás, se deba de ser menos ambicioso y abordar lo que se puede abordar con la colaboración de varias disciplinas, y así, se pueda congeniar en un sólo lenguaje donde biofísicos, bioquímicos, neurofisiólogos y psicólogos se puedan comunicar. Una posibilidad es el lenguaje de la formación de patrones en teoría de sistemas dinámicos (Kelso, 1995). De tal modo, los niveles pueden ser considerados como referentes a una escala de espacio y de tiempo, en donde ha predominando la importancia de la escala espacial. Los niveles, en un sentido amplio, pueden ser considerados desde lo infinitamente pequeño a lo infinitamente grande. Pero por fines prácticos y considerando la idea de que lo psicológico es lo que media entre lo biológico y lo social, en este escrito se tomaran sólo dos ámbitos de la infinidad que puede haber. Uno es el que respecta al sistema nervioso y otro es el que respecta a los sistemas sociales.

Generalmente, en cuanto al sistema nervioso, se suele hablar de tres niveles: el microscópico, que se relaciona con lo que hay dentro de la célula, por ejemplo la actividad de canales iónicos; el mesoscópico, que se relaciona con lo que hay entre un pequeño grupo de células, por ejemplo redes neuronales; y el macroscópico, que se relaciona con la actividad de grandes grupos de células, por ejemplo el EEG y las correlaciones cognitivas del mismo (Kelso, 1995; Freeman, 2000). A esto se le puede agregar el nivel molecular, donde las moléculas y sus interacciones son el objetivo de estudio.

No es fácil caracterizar los niveles, siempre existen distintas formas de tratarlos, sobre todo cuando existe una gran cantidad de literatura especializada en distintos rubros del conocimiento. Una forma sencilla de caracterizar los niveles es tomar de inicio alguna unidad fundamental para ese nivel. Por ejemplo, en el caso de lo social, se puede tomar como referencia a los individuos propios de alguna sociedad. Otro referente podría ser considerar la estructura familiar. Y así, cada estructura identificable serviría como una orientación, o algún referente de clasificación.

De esta manera la forma más sencilla, para hablar de niveles, es en escalas de espacio y de tiempo. Tomando como referencia alguna estructura estable relativa a cada nivel. Así, surge la problemática alrededor de si es posible seccionar e integrar lo que se pretende estudiar. Suponiendo que los niveles existan como unidades independientes de un observador, se puede plantear la problemática, de cómo es que interactúan para formar estructuras en otra escala espacio-temporal, de lo cual se hablará en la siguiente sección.

2.2. La integración

Chauvet (2005) reporta que la diversidad de datos y técnicas de investigación en Biología, requiere de una integración, especialmente la neurociencia, debido a que se ha avanzado mucho en cuanto a la biología molecular y a las técnicas computacionales. Con respecto a la integración, de los distintos tipos de estudio, considera los siguientes dos aspectos: el primero tiene que ver con la neuroinformática, la cual tiene que ver con las técnicas computacionales como con los datos que se obtienen de ellas; el segundo aspecto discute el cómo integrar niveles, tales como el celular, el de sistemas fisiológicos y el nivel de organismo completo. Además Chauvet dice que, la aproximación que pretende integrar la neurociencia está generando puentes entre los sistemas de los organismos, está encontrando nuevos mecanismos, principios fisiológicos fundamentales y medios para el tratamiento de desórdenes humanos.

Para poder abordar la temática, parte de la siguiente pregunta ¿Cuáles son las restricciones para una teoría en neurofisiología? Para responder esta pregunta se basa en que las restricciones son de dos clases para un sistema biológico: 1) los sistemas biológicos son sistemas físicos, y 2) restricciones que son específicas a los sistemas biológicos. Como los sistemas biológicos son sistemas alejados del equilibrio termodinámico, y además se mantienen así por que utilizan energía de su medio. Ambas clases pueden ser manejadas en las siguientes subdivisiones:

- Los sistemas biológicos están constituidos de mecanismos físicos, consecuentemente, la descripción de estos mecanismos es la que objetivamente dan los MM.
- Los sistemas biológicos, considerando sus estructuras, están organizados jerárquicamente. Se considera a la estructura como un espacio, una organización *física* del sistema, de tal manera que coincida con las estructuras anatómicas e histológicas. Tal que la jerarquía estructural corresponde a la estructura material observada. En otras palabras, las estructuras físicas; se consideran como compartimentos dentro de compartimentos, una organización estructural jerarquizada.
- El comportamiento de los sistemas biológicos es resultado de procesos dinámicos, de tal manera que suceden en el tiempo y el espacio, variando continuamente.
- Los sistemas biológicos son capaces de generar acciones. Esta es una gran diferencia con los sistemas físicos y cerrados que generalmente surgen en la Ingeniería. Es por

esto que suele hablarse de *funciones fisiológicas* estas funciones existen en los distintos niveles de organización y son resultado del trabajo de estructuras organizadas. Considerando esto se pretende superar el problema de la relación entre estructura y función por el de la relación entre las organizaciones estructurales y las estructuras funcionales.

- Los sistemas biológicos son capaces de reproducirse.
- Los sistemas biológicos son capaces de la adaptación y son auto-organizados. La diferencia entre organizado y auto-organizado se encuentra en que en un sistema organizado su estado interno varía de acuerdo a una causa externa y cesa de variar cuando la causa externa es suprimida. Este tipo de definición, la cual expresa la relación entre causas externas y efectos internos, puede ser expresada en términos matemáticos y esto también se puede extender a los sistemas auto-organizados cuando las fuerzas que lo organizan son internas con respecto al sistema. La formulación matemática es igual, sólo difiere en que las fuerzas que propician la organización, en uno son externas y en el otro son internas. Cuando las fuerzas internas cambian también cambia el sistema y por ende también cambian las fuerzas, formando así una acción recíproca entre la acción y el efecto, en los sistemas auto-organizados.
- Los sistemas biológicos están sosegados de funciones especializadas.
- Los sistemas biológicos están altamente integrados por mecanismos elementales.
- Los sistemas biológicos evolucionan en el tiempo de acuerdo a dos diferentes fases, una de desarrollo y la otra de estabilidad cuando se es adulto.

Para que una teoría matemática de la fisiología integrada sea posible se requiere de un lenguaje, en este caso, como en la Física se pretende utilizar la representación y el formalismo de la matemática. De tal manera que se logre una representación y un formalismo para los sistemas biológicos.

Para describir los estados dinámicos de un sistema biológico formal Chauvet (1993) propuso una representación formal en términos de interacciones funcionales, por ejemplo, objetos matemáticos denotados por $\psi^{(l)}(r, t)$, donde t es tiempo, r es un espacio continuo jerárquico y l es el espacio de unidades estructurales como un nivel. Esto representa algo que se propaga de una estructura a otra. Esto ya sabiendo que se trata de un organismo que está estructurado jerárquicamente (la jerarquía se define por las escalas espaciales), y además, sabiendo que las interacciones funcionales existen entre estructuras físicas en este

espacio (proveyendo una definición matemática de función fisiológica). De lo cual se puede pensar que: 1) las propiedades biológicas son resultado del acoplamiento de los niveles mas bajos de organización funcional, dando así propiedades emergentes. 2) El principio de organización se basa en el incremento de interacciones funcionales acopladas en el desarrollo de los sistemas biológicos, y esto a su vez, los hace diferentes de los sistemas físicos. Esto puede ser considerado como una naturaleza topológica independiente del espacio geométrico físico. La representación en términos de interacciones permite construir un marco de trabajo teórico riguroso, topológico y geométrico (Chauvet, 2005).

Para una definición topológica de función fisiológica primero se requiere definir una unidad estructural como una estructura funcional capaz de la acción. Tales estructuras corresponden a los espacios de volumen dados. Y se define la unidad estructural por la escala de espacio relacionada. En segundo lugar, se define el espacio de unidades como espacios abstractos en los cuales la definición de unidades estructurales puede ser considerada como puntos. La inclusión de espacio de unidades dentro de otra, de tal manera que la definición de jerarquía estructural se dé por las escalas de espacio. En tercer lugar, se define la interacción funcional como la acción de una unidad estructural, la fuente, dígame u_i en un espacio dado de unidades y en un nivel dado del espacio, y en otra, el sumidero dígame u_j , en el mismo espacio. Por ejemplo, en el caso específico del tejido nervioso, la acción de una unidad en otra es representada por ψ , la cual es propagada a otra. Esta abstracción transforma el espacio de neuronas en un espacio de unidades estructurales como la función concerniente a la actividad nerviosa.

Para una definición geométrica de interacción funcional, de operadores y de campos se debe considerar la nueva posición de unidades estructurales. Debido a la jerarquía y a la definición del espacio de unidades en un nivel dado, las unidades estructurales son distribuidas continuamente en ese nivel, en el cual pueden ser definidas por su posición, $u'(r')$ para la fuente y $u(r)$ para el sumidero. Estas nociones corresponden a u_i y u_j respectivamente. La interacción funcional de $u'(r')$ a $u(r)$ es representada como

$$u'(r') \xrightarrow{\psi} u(r) \quad (2.1)$$

y el valor de la interacción funcional dentro del sumidero en r' y en el tiempo t' es $\psi(r', t')$, se puede interpretar la interacción funcional como una variable de campo que es transportada de una fuente en r' , representada por Γ , a un sumidero en r (en un tiempo posterior $t = t' + d(r', r)/v$ donde v es la velocidad de interacción) bajo la acción de un operador de campo H

$$\psi(r', t') \xrightarrow{H} \psi(r, t) \quad (2.2)$$

esta aproximación de campo, es una manera natural de representar sistemas dinámicos continuos, en el tiempo y el espacio, de las interacciones funcionales. La ecuación de campo formal en un nivel dado se puede escribir como

$$[\mathbf{H}(\psi, \psi^{(n)}, n = 1, 2, \dots)\psi](r, t) = \Gamma(r, t) \quad (2.3)$$

donde Γ , es el término fuente, y H depende de ψ y de sus derivadas sucesivas $\psi^{(n)}$ con respecto al tiempo y las coordenadas del espacio. Geométricamente, se involucra en esta ecuación, el operador con el cual actúa de un punto del espacio al otro. El proceso dinámico que expresa el comportamiento de la relación de las interacciones funcionales, que ocurren continuamente en el espacio y en el tiempo con una velocidad finita. La velocidad v es un valor finito y representa el transporte de moléculas, potenciales, o efectos en los parámetros dependientes de la función fisiológica fundamental. Consecuentemente, esto es un retraso en la respuesta, entre unidades, en tiempos diferentes de su producción. Estos efectos se incluyen directamente en el operador de la interacción de campo. El objetivo, para investigar, es determinar el operador que describe específicamente una función fisiológica.

La ecuación básica anterior es diferente de ecuaciones con operadores en sistemas físicos, por que, i) describe la propagación de la variable de campo ψ de r' a r en el espacio jerárquico de las unidades estructurales en un nivel dado, ii) incluye la transformación local en r representada por $\Gamma(r, t)$, y iii) describe la difusión en las unidades extra-estructurales.

Desarrollar sistemas formales que describan el funcionamiento biológico en distintos niveles resulta una tarea difícil. Considerando que existen sistemas cognitivos, que se correlacionan a algunos eventos biológicos. Puede ser más complicado alcanzar formulaciones de sistemas dinámicos. Gelder y Port (1995) consideran que los sistemas cognitivos pueden ser distintos a otros procesos naturales, porque dependen de un *conocimiento* que puede ser registrado y utilizado. La aproximación computacional ha predominado por que aborda la cognición por medio de transformaciones simbólicas pero esto mismo conlleva aceptar la existencia de módulos y códigos en un tiempo discreto. La aproximación dinámica cuestiona la existencia de procesamiento en un tiempo discreto y en pasos por medio de módulos. La aproximación dinámica se aleja mucho de una habitación china (como la propuesta por Searle en una crítica a la aproximación computacional), para la representación. Los modelos dinámicos pueden ser considerados como si tuvieran un *status* de representación: estos incluyen estados del sistema, atractores, trayectorias, bifurcaciones y un conjunto de parámetros. De esa manera los sistemas dinámicos pueden acumular conocimiento, y así, tal conocimiento puede influir en su comportamiento. Algunos puntos que se deben considerar, mencionados por Gelder y Port, para la formulación de MM de sistemas cognitivos son:

- **Múltiples interacciones simultáneas.** Las neuronas son sistemas complejos con cientos, o quizás miles de conexiones sinápticas. Hay alguna clase de actividad en cada una de estas, todo el tiempo. Cada célula forma parte de una red de neuronas, donde todas son activadas todo el tiempo, y la actividad de cada una, está directamente afectando a cientos o miles de otras, y a su vez afectando muchas más. Las redes forman mapas, los mapas sistemas, y los sistemas el sistema nervioso central, pero en todo nivel se tiene el mismo principio: que hay actividad constante en todos los componentes en un solo momento, y los componentes están simultáneamente afectándose uno al otro.

- **Múltiples escalas temporales.** Los sistemas cognitivos siempre tienen lugar en escalas de tiempo. Cambios en el estado de las neuronas pueden tomar algunos cuantos milisegundos, el reconocimiento visual o auditivo toma medio segundo o menos, la coordinación de los movimientos unos segundos, la conversación y la comprensión de historias puede tomar minutos o algunas horas, y la emergencia de capacidades puede tomar semanas o años. Además estas escalas de tiempo están interrelacionadas, un proceso en una escala de tiempo puede afectar a otros procesos en otra escala temporal. La aproximación dinámica provee de medios para manejar la variabilidad e interdependencia de escalas de tiempo. Por ejemplo, las ecuaciones que gobiernan un sistema dinámico típicamente incluyen dos clases de variables: variables de estado y parámetros. De tal manera que el cambio de estado en el sistema depende de ambas, pero sólo las variables de estado toman nuevos valores; los parámetros son fijos y estandarizados. Sin embargo, es posible pensar que los parámetros no son fijos y cambian, a través de una escala de tiempo más larga que la de las variables de estado. Así se puede tener un sólo sistema con una dinámica rápida de las variables de estado sobre una escala corta de tiempo y una dinámica lenta de parámetros sobre una escala de tiempo larga, tal que, la dinámica lenta ayude a formar la dinámica rápida. Igualmente se puede pensar que la dinámica rápida ayuda a formar la dinámica lenta, teniendo así una interdependencia de escalas.

- **Auto-organización y la emergencia de estructura.** Los sistemas cognitivos están altamente estructurados, en su conducta y en su organización espacio-temporal interna. Un reto para la ciencia cognitiva es describir la estructura, y por otro lado, otro reto es explicar como se llega a ella. Un avance de la aproximación dinámica es que los sistemas dinámicos son capaces de crear estructuras en el espacio y en el tiempo. Por estructura se entiende *algo no aleatorio que se soporta o se repite en el tiempo*. Así un objeto físico, tal como una pelota, es invariante en forma sobre el tiempo,

mientras que un evento pasajero, como una ola rompiéndose en la playa, puede repetirse con regularidad temporal. La cuestión central en este punto es la *morfogénesis*, como en muchas ramas de la ciencia. ¿Por qué la materia y la energía no están uniformemente distribuidas en el universo? El estudio de sistemas físicos, como el océano, la atmósfera, o los fluidos, pueden dar inicio a la solución. Se requiere alguna forma de energía entrante más alguna ley dinámica apropiada. Bajo estas circunstancias habrá sistemas que tenderán a generar estructuras regulares, de alguna clase, bajo un rango de condiciones.

La demostración de que la estructura puede existir sin un plan específico o un constructor independiente aumenta la posibilidad de que muchas estructuras en cuerpos físicos, así como en la cognición, puedan ocurrir sin alguna imposición externa, formándose de manera forzada. Los modelos dinámicos son considerados para muchas estructuras espaciotemporales. Ello hace posible comprender como estructuras *evidentes* e *improbables*, pueden existir o retener su morfología, por algún periodo extenso de tiempo. Por lo cual se asume que la cognición es una estructura particular en el espacio y en el tiempo, una que soporta la interacción inteligente con el mundo. Así, el trabajo por hacer, es encontrar como tales estructuras pueden mantenerse y ser un estado estable del cerebro en el contexto del cuerpo y el medio. Las primeras respuestas dependen de si la estructura viene de los genes o si viene impuesta por el mundo.

- **Asentamiento (*embeddedness*)**. Si se usa el término sistema cognitivo para referirse a los mecanismos internos que subscriben representaciones, entonces los sistemas cognitivos pueden ubicarse en el sistema nervioso y también, en un sentido diferente, en un cuerpo y un medio. Una consideración adecuada del funcionamiento cognitivo, por lo tanto, es capaz de describir y explicar ese asentamiento. La ubicación de los sistemas cognitivos ha tenido dos aspectos diferentes. El primero es la relación del sistema cognitivo a un substrato neuronal. El otro aspecto es la relación del sistema cognitivo a su contexto.

2.3. Ontología y representación

Como ya se dijo, por lo regular, los sistemas son definidos arbitrariamente. Esto contrasta con la idea de que todo objeto *es*, es decir, cada objeto es una identidad, y no necesita que un observador lo califique como tal. Después de todo, la ontología es tema de la Filosofía, y como tal, se ocupa del estudio del ser y de lo que se es. Por otro lado, la representación

es un concepto que se refiere a la posibilidad de que algo pueda capturar la esencia de lo otro. Y de este modo no se extrapola la representación con la ontología.

Regularmente no se cuestiona, si es viable representar una pelota por medio de una esfera. Ni si es posible representar la trayectoria de un objeto por medio de una línea continua, sin embargo, se comenzó a cuestionar la capacidad de la representación en los sistemas vivos. Eran tan fugaces los fenómenos vivos que no parecía fácil poderlos representar en formas tan simples como una línea o una esfera. Pese a ello se ha logrado representar fenómenos vivos por medio de conceptos matemáticos. Un ejemplo es el potencial de acción de una neurona. Como ya se dijo, el MM de Hodgkin y Huxley representa la dinámica del voltaje en el axón gigante del calamar, lo cual fue posible mediante un conjunto de ecuaciones diferenciales. Del modelo de Hodgkin y Huxley se creó una simplificación, las ecuaciones de Fitzhugh-Nagumo, que facilitan el trabajo teórico. La solución de ese sistema de ecuaciones dur ante un potencial de acción es una onda viajera (*Traveling Waves*), la cual, mantiene la forma de onda en un periodo de tiempo. Estas aparecen en diversos procesos biológicos como la contracción muscular, el plegamiento de proteínas, el cierre y la apertura del ADN, y crucialmente en el cerebro. Una onda viajera, desde un punto de vista simple, es una onda que cambia de posición pero manteniendo su misma forma. Existen al menos dos tipos de ondas viajeras, un tipo es el frente de onda, y el otro tipo es el de medio excitable. En el caso del potencial de acción, la onda viajera es de tipo medio excitable. Una onda viajera, en términos sencillos, puede ser representada por una ecuación, que es la solución a una ecuación de reacción difusión. Así, una aproximación a la representación de procesos biológicos se puede dar mediante ecuaciones de reacción difusión. Una ecuación de reacción-difusión es la que se da con la siguiente forma

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} = D \nabla^2 \mathbf{u}(\bar{x}, t) + \mathbf{g}(\mathbf{u}) \quad (2.4)$$

donde $\mathbf{u} = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ es el vector de n variables independientes, la función $\mathbf{g} = (g_1, g_2, \dots, g_n)$ es una función vectorial. Este tipo de ecuaciones ha sido usada para representar procesos biológicos, desde que Turing las generalizo en 1952, para el estudio de su *The chemical basis of morphogenesis*. Esto sugirió que el mecanismo de reacción difusión puede explicar la formación de patrones en los animales (Kelso, 1995).

Así, se puede plantear la posibilidad de que todo proceso vivo sea un proceso de catálisis. Considerando que en los procesos biológicos existen solitones u ondas viajeras. Se sugiere que el cerebro es un *medio excitable* (un sistema que ante estímulos ligeros presenta estabilidad estructural, sin embargo, cuando las perturbaciones sobrepasan un umbral el sistema cambia a otro estado estable) y en el se dan ondas viajeras que correlacionan con procesos

psicológicos. La catálisis enzimática es un proceso prototipo, que elucida, el camino en que los procesos vivos mantienen su organización. Debido a las transiciones, que se median por la estructura, en algún medio para disipar la energía. La idea central parte de la siguiente cuestión: ¿Cuál es la relación entre los procesos relativamente simples, tales como las reacciones químicas catalíticas, que son consistentes con la comprensión de los principios termodinámicos, y los procesos, de los cuales se piensa que involucran información en forma de códigos, símbolos o representaciones? Los procesos que involucran información, símbolos o representaciones; son más difíciles de reconciliar con las consideraciones termodinámicas. Las ondas viajeras no lineales en Biología representan una síntesis entre energía y estructura, asociadas con algún sustrato material (Davia, 2006).

Se ha sugerido que la percepción puede ser modelada: asumiendo que el input sensorial es generado por una jerarquía de atractores en un sistema dinámico. El medio en el cual se encuentre algún sistema cognitivo brinda el impulso para que exista una dinámica desencadenada. Así, el sistema nervioso es considerado una multiplicidad de sistemas dinámicos que pueden ser similares a los pasos computacionales de un ordenador ordinario. A partir de esto, se han propuesto modelos del reconocimiento de rostros y del habla. Todo bajo el supuesto de que existe una dinámica en el medio, una dinámica en el reconocimiento y finalmente una dinámica neuronal (Kiebel, Daunizeau & Friston, 2009)

En cuanto a la representación de las cosas, es difícil saber cuando existen aquellos objetos que son sujetos a percepción por los sentidos. La ontología de ese objeto puede ser cuestionada. Davia (2006) sugiere que la cognición no involucra representación; el cerebro hace explícita la ontología implícita de los objetos y fenómenos. La cognición no es consecuencia de la representación, algo se correlaciona con la ontología (suponiendo que la fenomenología sea igual a ontología). Así, por ejemplo, cuando se tiene la experiencia de ver una cara cada aspecto de la cara tiene una relación dinámica con el resto. No se ven características individuales, las relaciones dinámicas son implícitas a muchas caras que se han visto. Con la visión tradicional de la representación de la percepción ha sido difícil correlacionar el aspecto cualitativo (o fenomenológico) de la experiencia consciente con objetos de percepción cuantitativa. Sin embargo, al correlacionar la experiencia consciente con propiedades dinámicas y relacionales de ondas viajeras no lineales, se concreta un poco para comprender la naturaleza cualitativa de la conciencia. Como consecuencia directa de la estructura catalítica, invariante de escala, de los procesos vivos. Se puede considerar el medio excitable del cerebro como un medio que provee una gran disipación de energía.

Algunos datos aportados por estudios con electroencefalografía dan muestra de estructuras

estables correlacionadas con estados psicológicos. La correlación entre los fenómenos psicológicos y fisiológicos forman la base para diferentes disciplinas, pero la naturaleza de esta relación aun no es completamente comprendida. Una opción conceptual comprende lo mental como algo *emergente* de los procesos neuronales en el sentido específico de que la Psicología y la Fisiología proveen dos diferentes descripciones en términos de puntos en estados del sistema, que pueden ser microestados y macroestados. Los dos pueden ser viables para hacer una reconstrucción por medio de electroencefalografía y finalmente obtener reglas que describan la evolución del sistema. Así se pueden estudiar macroestados como una correlación a estados psicológicos (Allefeld, Atmanspacher & Wackermann, 2009)

Bajo este régimen de razonamientos, se puede considerar que las estructuras organizadas y auto-organizadas: son producto de altos gradientes de concentración. De tal manera, que como en el origen de la vida, los conceptos teóricos de la termodinámica pueden servir para esclarecer el origen de lo psicológico, osea, todas aquellas capacidades mentales y conductuales de las que son capaces los animales. Y así como una estructura biológica tiene un origen dinámico bioquímico, también las estructuras psicológicas, pudiesen tener, un origen en la dinámica propia de la vida.

2.4. Recapitulando la medición

Señalando que el conocimiento depende de las estructuras de los sistemas biológicos, el conocimiento puede evolucionar. No necesariamente el medio moldea la evolución sino que la actividad propia de los seres vivos también influye en el cambio. Por medio de la percepción se genera conocimiento o teorías, sobre un predefinido mundo externo, por medio de la acción cambia. La visión clásica de un observador pasivo es difícilmente sostenible en Física (especialmente en mecánica cuántica), donde medir es en si mismo una clase de acción. Medir es conducir por medio de aparatos, así, los aparatos actúan como operadores de los objetos en cuestión. Esto significa que no hay alguna diferencia entre actuar en el sentido literal y actuar por medio de operadores de medición. Fue una decisión importante por parte de los físicos aceptar que los objetos, características o términos teóricos sólo si ellos podían ser definidos por medio de procesos de medición. Se ha demostrado con evidencia experimental que la usual definición proto-física de términos teóricos por medio del sentido común puede no ser sustentable para describir sistemas subatómicos o relativistas. Los términos teóricos tienen que ser definidos más precisamente, y esto puede ser alcanzado por medio de aparatos de medida. A esto se le llamó *definición operacional de los términos*

teóricos. Los objetos son definidos por sus propiedades y sus propiedades son definidas como invariantes de operadores de medición. Así los objetos también son definidos por medio de operadores. Como no se puede medir una propiedad ni actuar sobre el objeto en cuestión sin la aplicación precedente de la operación de definición, entonces se concluye que todo lo visto y hecho es materia de interacción entre tres diferentes clases de operadores: definición, medición y operadores actuantes. Se puede decir, que existen fenotipos cognitivos, que son base para percibir en dos, tres o cuatro dimensiones. Lo cual depende del fenotipo orgánico. Así, las mediciones físicas por medio de aparatos de medición pueden ser consideradas como extensiones artificiales del fenotipo orgánico. Y esto, finalmente, puede modificar el fenotipo cognitivo (Diettrich, 2006).

De tal modo, se puede plantear la necesidad de redefinir los conceptos que competen a lo psicológico. Por un lado, puede dudarse de la existencia de objetos que no tienen un referente directo, como lo mental, sin embargo se pueden inferir estructuras por medios indirectos, como es el caso del EEG o alguna otra técnica que correlacione tareas psicológicas con estados fisiológicos. Así, se podrían encontrar definiciones más precisas, y MM más prometedores, para los llamados *procesos psicológicos*.

Capítulo 3

El bucle del lenguaje

A lo largo del siglo pasado se discutió uno de los problemas fundamentales más desconcertantes en filosofía de la ciencia, este problema dio pie al abandono de una racionalidad materialista ingenua. Ya que tal racionalidad, se vio en problemas, al carecer de una sólida consistencia en los axiomas que la sostienen. Para ahondar en ello es necesario hablar sobre el lenguaje. Ya que en el lenguaje radica la problemática. Para dar una idea preliminar, la problemática se establece con la imposibilidad de dar una justificación y demostración, de los axiomas y de lo que es tomado *a priori* en las investigaciones experimentales y teóricas. A grandes rasgos la problemática gira alrededor de si existe una representación que sea lo suficientemente justificable para abordar los fenómenos de la naturaleza.

El desarrollo del conocimiento, ha pasado por una serie de problemáticas, a lo largo del siglo XX. Estas han oscilado principalmente entre un empirismo lógico y positivista, y una perspectiva sociológica relativista del conocimiento. Una tercera perspectiva se ha ido consolidando con autores; como Quine y Donald T. Campbell. Esta perspectiva es una epistemología naturalista, la cual se basa en que el conocimiento, antes que social y lógico, surge de organismos vivos con aparatos receptores muy similares. Por lo cual, se han formulado MM, como la teoría de la transmisión cultural o la co-evolución gene-cultura. Las cuales pretenden formalizar la relación genes-cultura, sin embargo se les ha criticado por ser concebidas por Biólogos y Matemáticos, bien intencionados, pero carentes de la suficiente formación en el área cultural, como para comprender los procesos subjetivos involucrados en la cultura. Pese a ello, el racionalismo en las Ciencias Sociales ha sido representado por algunos autores, como Claude-Lévi Strauss, quienes pensaban la cultura como una estructura superorgánica (Gontier, 2006). Dejando así, la posibilidad de formalizar el campo de

estudio cultural, mediante MM, pero tomando en cuenta los riesgos que conlleva la simplificación. Se puede pensar, que el desarrollo expresado a lo largo de la tesis, aporta bases para una epistemología naturalista. Sin embargo, el propósito es lograr formalizar el estudio de los fenómenos psicológicos por medio de bases físicas, químicas y biológicas. No por que sea reducible a ellas, sino por que sin ellas no es posible demostrar su existencia.

3.1. El lenguaje

El Lenguaje ha sido estudiado ampliamente y desde distintas perspectivas, sin embargo, no es fácil definirlo, ni mucho menos delimitarlo como un objeto en el espacio y en el tiempo. Pero si se puede decir que la cuestión principal ya no es si el estudio de la localización cerebral es útil para entender las funciones cognitivas, como el lenguaje, sino más bien cuales son los mecanismos neuronales por los que pueden realizarse estas funciones (Kandel, Schwartz & Jessell, 1997). Ya en el corpus Hipocrático se contenían numerosas referencias de desórdenes del habla como consecuencia de un trauma cerebral o enfermedad, y en ciertos pasajes se relatan diferencias en la baja de articulación y del lenguaje, como consecuencia de algún trauma (Arbib, Caplan & Marshall, 1982). Algunos piensan que el lenguaje se diferencia de las demás formas de comunicación en su forma, contenido, uso, y creatividad. La *creatividad*, puede verse como, la capacidad para generar y crear significados a partir de la asimilación de reglas gramaticales. La *forma*, se constituye de los elementos que crean y dan forma a las palabras y oraciones, o en otras palabras, de la gramática. El *contenido*, se constituye de significados y abstracciones, que están fuera de eventos mediatos, diferenciándose así de los gestos contextuales. Finalmente, el *uso* se refiere a que el lenguaje es fundamentalmente un medio de comunicación social. Algunos estudios, que han utilizado modelos animales, llegaron a basarse en la creencia de que los animales poseen la capacidad de generar procesos similares al lenguaje humano. A inicios del siglo pasado, se tenía la creencia de que los chimpancés podían aprender los comportamientos humanos si eran educados como tales. William y Lorna Kellogg (1930), criaron a un chimpancé, *Gua*, junto a su propio hijo. El chimpancé adopto muchas conductas humanas, comprendió unas cuantas órdenes verbales, y se adiestro en unos cuantos gestos de manos, pero nunca aprendió a hablar. Unas cuatro décadas después se confirmó que el tracto vocal de los chimpancés no podía producir la compleja escala de sonidos humanos, explicando de esta manera que los chimpancés no pudiesen hablar. Posteriormente, Allen y Beatrice Gardner, le enseñaron a una chimpancé, *Washoe*, a usar signos tomados del lenguaje de signos, para sordos. Washoe, en cuatro años y de manera similar a un niño menor de cuatro años,

aprendió 160 palabras en las que se incluían: sujetos de la acción, atributos, y modificadores. Subsecuentemente, David Premack enseñó a una chimpancé llamada *Sarah* a comunicarse mediante fichas plásticas, en las que se encontraban grabados signos. Premack trato de respetar características universales en lenguas naturales, enseñó a interpretar órdenes por medio de secuencias de fichas y a construir sus propias frases colocando sus fichas en secuencias con significado. Parecía que Sarah era capaz de expresar, con símbolos, su comprensión de la relación causal de los acontecimientos físicos. Todo esto con el propósito de mostrar que los chimpancés podían entender relaciones sintácticas. Debido a la polémica, que debió causar este tipo de estudios, se cuestionó la capacidad real de los chimpancés para comprender lo que hacían. Por ello es que Susan Savage Rumbaugh examinó la comprensión de un bonobo o chimpancé pigmeo. Comparo la capacidad de comprensión del inglés hablado, en una cría de bonobo, llamado Kanzi, con la de un niño, y encontró que ambos tenían una capacidad semejante tanto de léxico como de comprensión gramatical. Hasta la edad de dos años y medio, Kanzi, aprendió entre cuatrocientas a quinientas palabras, pero después ya no aprendió. Por un lado esto dejo en entredicho la capacidad de los chimpancés para aprender algunas cosas del lenguaje humano, sin embargo, no existe la posibilidad de que lleguen a tener un lenguaje como el humano (Kandel, Schwartz & Jessell, 1997).

3.1.1. Nature vs. Nurture

Ha existido un intenso debate sobre la naturaleza del lenguaje. Un ejemplo de esto se encuentra en la réplica de Chomsky hacia Skinner a mediados del siglo pasado. Por un lado, en una visión del lenguaje, se dice que es adquirido y desarrollado por aprendizaje en el medio cultural. Por otro lado, en otra visión, se dice que el lenguaje tiene un carácter innato e instintivo. Desde la existencia de este debate, se ha manejado en tres niveles; el nivel de la sintaxis, el de la semántica, y el de la fonología. El debate ha continuado a través de varias disciplinas como la Etología, la Neurociencia, la Lingüística, y la Psicología evolutiva. Cada grupo disciplinario ha enfatizado alguna característica del lenguaje. La Etología ha enfatizado lo innato o instintivo, y lo aprendido que hay en relación al lenguaje. De la misma manera en Psicología y en Neurociencia se ha enfatizado la relación que hay entre el desarrollo y el aprendizaje. De manera general, se han propuesto cuatro modelos para describir la relación entre el desarrollo y el aprendizaje. El primero maneja al desarrollo y al aprendizaje como dos entidades completamente separadas. El segundo los ve como una identidad, como si fueran lo mismo. El tercero, y principalmente representado por Piaget, dice que no son completamente iguales, pese a que tengan una parte en común, y se dice

que el desarrollo influye en el aprendizaje pero el aprendizaje no influye en el desarrollo. El cuarto modelo, principalmente ejemplificado por Vygotsky, plantea que el desarrollo y el aprendizaje tienen una parte en común y que tanto el desarrollo como el aprendizaje se afectan mutuamente (Kuhl, 2000).

Por otro lado, existe evidencia que apoya la idea de que el lenguaje es innato. Tal evidencia se resume en los siguientes argumentos: el lenguaje se correlaciona predominantemente con la actividad del hemisferio cerebral izquierdo de tal manera que existe una diferencia anatómica funcional, existe una asimetría entre el hemisferio derecho y el izquierdo a las 31 semanas de gestación, al nacer los niños tienen una gran sensibilidad a los sonidos, misma que con la edad se va perdiendo, existen reglas universales en la adquisición del lenguaje, existe un periodo crítico entre los dos y los quince años para el desarrollo del lenguaje y por ello se piensa que los niños salvajes no pueden aprender a hablar después de la pubertad (Kandel, Schwartz & Jessell, 1997).

3.1.2. En busca de lo universal

En la Universidad Nacional de Austria, Wierzbicka (2004), se pregunta si los animales piensan y si piensan como difiere, su pensamiento, del pensamiento humano. Argumenta que las distintas formas de lenguaje necesitan de una unificación conceptual en términos precisos y claros. También dice que muchos debates socio-biológicos pueden terminar por medio del uso de un *Metalenguaje Semántico Natural* (MSN). La idea central del MSN en el pensamiento y el lenguaje, se soporta en investigaciones empíricas extensivas y por un gran número de investigadores, a pesar de su gran diversidad, todos los lenguajes naturales comparten un núcleo central: un pequeño vocabulario de aproximadamente sesenta *conceptual primes* y una *universal grammar* (las propiedades combinatorias de las primes). Las *conceptual primes* universales y sus propiedades combinatorias, identificadas en el MSN, son análogas a los elementos químicos y sus propiedades combinatorias básicas. De esta manera se abre un mar de perspectivas para el MSN como lo es para los elementos en la Química. En esta línea de investigación, se pretende que, como la MSN ha servido para el estudio de lenguas y culturas, también puede ser una efectiva herramienta para explorar la comunicación y cognición en los primates, y esto también abre nuevas perspectivas en la adquisición del lenguaje, la comunicación no verbal y la Psicología evolutiva. Existen dos claves, para esto, una se refiere a si la cognición de los primates difiere de la de otros mamíferos o no, y la segunda, respecta sobre como difiere la cognición humana de la de los

otros primates. Los fundamentos del MSN son esencialmente los siguientes: .

- El primer fundamento para el MSN es que surge a partir de un amplio trabajo empírico a lo largo de muchos años y de investigadores en distintos lugares y culturas.
- La segunda, es que este conjunto de *primes* es universal, y se puede encontrar en todos los lenguajes en la forma de palabras específicas.
- La tercera, en base a que los términos encontrados son claros e intuitivamente simples. Esto va de acuerdo con la observación de Leibniz de que toda explicación viene a un fin, y que el valor último de todas nuestras explicaciones depende de cómo se explican a sí mismos los términos que son usados en esa explicación.

De tal manera, se deja abierta la siguiente problemática; si todas nuestras explicaciones dependen de unos cuantos conceptos primarios, que no pueden ser definidos, la pregunta natural es: ¿Cómo podemos entender estos conceptos primarios en si mismos?

Por otro lado, se hace énfasis en la necesidad de una teoría unificada de interpretación. Por lo cual, algo que se remarca del conjunto de *primes* es que provee de un marco unitario para el estudio de la comunicación y de la cognición, en animales y humanos. Y así, tal marco unitario debe considerar tanto la comunicación verbal como la no verbal. Para ejemplificar los beneficios de una teoría unificada de interpretación, se comenta el siguiente ejemplo; sobre el sentido del yo en los animales.

Se ha sugerido que una de las diferencias entre la cognición humana y la de los animales es su *sentido del yo*. Para esto se considera la llamada *auto-conciencia objetiva* y la *auto-conciencia subjetiva*. De tal manera que la auto-conciencia objetiva se refiere a la capacidad de los organismos, para, reconocer entre lo que es él mismo y lo que no es él mismo (como se dice; un carnívoro no se come a si mismo), y la auto-conciencia subjetiva se refiere a la capacidad que tienen los monos y los humanos de reconocerse ante un espejo. Ante este ultimo hecho, inicialmente presentado por Gallup (1970), se ha escrito y dicho mucho, generando una serie de términos (*etnocentrismo terminológico*) como *reflexive self-referring* o *subjective self-awareness*. De los cuales, *self* es utilizado como un nombre o sustantivo, en el inglés. Finalmente, usando el MSN se puede situar la hipótesis de Gallup en varios términos simples, sin los lentes culturales anglosajones: la hipótesis es que la apariencia del mono en el espejo puede pensarse como *esto es mí* (this is me). Y que sólo los monos y los humanos pueden generar tal pensamiento. Wierzbicka concluye que, el uso del MSN

posibilita el estudio de la comunicación y la cognición en animales y en humanos, por que existe un conjunto de *primes* universales, y además, tales *primes* posibilitan una teoría única para el estudio intercultural (Wierzbicka, 2004).

De la investigación de Wierzbicka, también se puede añadir que la existencia de las *primes* posibilita un lenguaje común, el cual; sino libra de ser un lenguaje que depende de un contexto, si permite un medio común para referirnos y comunicarnos.

3.2. Sistemas dinámicos y lenguaje

Para la visión dinámica, el cerebro es un sistema físico, continuo en el tiempo y enormemente complejo. Que puede describirse en términos dinámicos de excitación e inhibición neuronal. La conducta de un gran número de elementos microscópicos neuronales crea una base discreta de atracción para sistemas que pueden ser encendidos o apagados. La dinámica contingentemente estable de macroestados forma los substratos para estados mentales y conductuales. Algunas formulaciones de esta tradición dan alternativas análogas a la computación discreta, con la afirmación de explicaciones de funciones de percepción y conducta. Han propuesto alternativas concernientes a la dinámica de masas de sistemas neuronales que cuentan para la respuesta de patrones electromagnéticos endógenos y exógenos observados (Cariani, 2001).

La aproximación dinámica no sólo ha penetrado las ciencias naturales, sino también las sociales, la conductual y la neurociencia. La liga es la idea de que, los sistemas se comportan en la misma dirección, y, la creación y evolución de patrones de conducta en todos los niveles están gobernados por un proceso de auto-organización. La auto-organización es un principio universal investigado en distintas escalas de espacio y de tiempo, desde lo microscópico a lo macroscópico. Por lo tanto la auto-organización aplica independientemente de la escala. En la interpretación neurocognitiva: los sistemas vivos (definidos como sistemas abiertos desde su organización son dependientes del permanente intercambio de energía) interactúan selectivamente con el medio. La selección de datos es conducida desde afuera, bajo el siguiente criterio: el sistema se determina y se extiende para la selección y organización de información. La obtención de datos y la selección, dirigen la organización del sistema dinámico no lineal. Los procesos activados en esos cambios son auto-organizados e irreversibles. El proceso irreversible no sólo se dirige al incremento de la complejidad sino que también a bifurcaciones sucesivas o propiedad *modular*. La organización de un sistema

dinámico no lineal, no sólo lleva meramente a la disociación, en la que un valor crítico de complejidad es sobrepasado, sino también muestra grados de orden persistente (Peltzer-Karpf, 2006). Por lo cual han surgido diversas aproximaciones sobre como el lenguaje puede ser abordado desde un marco teórico compatible con la teoría de sistemas dinámicos y de algunos conceptos termodinámicos.

Las técnicas en la fabricación de herramientas, el control del fuego, el forrajeado en grupo, y la coordinación en grupos para la caza. Son actividades resultantes de una complejidad, cada vez mayor, en la organización social, la cual también incremento la complejidad en la vida de los homínidos. Así, los homínidos tuvieron que enfrentar la complejidad mediante la sofisticación de respuestas basadas en perceptos. El pensamiento basado en perceptos, por si sólo, no provee de suficiente abstracción para tratar con el incremento de la complejidad en la existencia homínida. La mente homínida no pudo hacer frente a la complejidad solamente con su percepción sensorial. La saturación de información y el caos, que siguió al nuevo nivel de abstracción y de orden, provoco la emergencia del lenguaje verbal y el pensamiento conceptual. Los perceptos surgen de las impresiones del mundo externo que se aprehenden con los sentidos y se median por redes neuronales en los cerebros. Los conceptos, por otro lado, son ideas abstractas que resultan de la generalización de ejemplos particulares. Los conceptos también aumentan la variedad con la cual los cerebros pueden modelar el mundo. Los perceptos, por su parte, son concretos y se ligan sólo a eventos particulares. Ya que los conceptos son generales pueden aplicarse a una infinidad de eventos. Si los conceptos son combinados con otros conceptos, o con perceptos, entonces se puede incrementar su variedad. Por esta razón es que los humanos son capaces de utilizar símbolos de manera generalizada para crear nuevas ideas y formular planes para el futuro. Por eso es que, algunos animales que han sido introducidos en la cultura son capaces de comprender los símbolos, pero no de utilizar estos símbolos de manera general o de expresar ideas de ellos mismos. La emergencia del habla se ve como la transición del pensamiento basado en perceptos al pensamiento basado en conceptos. Del lenguaje no surge el pensamiento ni del pensamiento surge el lenguaje, el habla humana y la emergencia de la conceptualización emergen exactamente en el mismo tiempo, creando condiciones para su mutua emergencia. El lenguaje y el pensamiento conceptual son auto-catalíticos, y ligan dinámicamente, las partes de un sistema dinámico cognitivo, llamado, mente humana. Un proceso auto-catalítico es aquel que se cataliza a si mismo en un feedback positivo, así que cada vez que el proceso inicia, siempre como una fluctuación, comienza a acelerarse y construye así un nuevo fenómeno emergente. El uso de una palabra podría transformar el cerebro de un estado a otro, y reemplazar un conjunto de perceptos por un concepto. Así, una palabra es

un atractor, para los perceptos asociados con la representación del concepto por la palabra (Logan, 2006).

Por otro lado, desde el punto de vista de Davia (2006), en el estado inicial del desarrollo, las palabras son solamente objetos de sonidos. El niño aprende a reconocer estos objetos de sonido como también objetos visuales. De tal manera que se genera una sincronía entre la palabra, la visualización y el objeto. Pudiendo ser que, exista una generación de ondas viajeras en el cerebro, en este sentido, el significado es un proceso catalítico consecuente, sobre una dinámica no lineal, que hace explícita lo invariante en la relación entre palabra y objeto. Si se considera a las palabras y al lenguaje simplemente como un conjunto de eventos en el mundo, no diferente en alguna clase a otro fenómeno, entonces se puede afirmar que las palabras y el lenguaje encarnan una ontología implícita. El significado es la experiencia que se tiene cuando la ontología implícita se hace explícita. Se puede proponer un modelo para el desarrollo mental, en el nivel más fundamental: el cerebro se estructura como consecuencia de los estímulos. Esto toma la forma de eventos neuronales en el espacio y en el tiempo, que corresponden a las relaciones espacio-temporales implícitas en los estímulos. Áreas del cerebro son excitadas y otras suprimidas. Si el estímulo encarna algo invariante, entonces se pueden soportar ondas viajeras que unan los estímulos en términos de algo invariante. Cuando, estos ordenes implícitos, causan lo explícito como consecuencia de la evolución espacio-temporal de ondas viajeras, entonces el reconocimiento del objeto es el resultado. Cada uno de estos niveles de cognición es establecido y la relación implícita entre estos objetos de reconocimiento pueden causar algo explícito: cognición de alto nivel, tales como el lenguaje, la conceptualización, el yo, etc.

Una postura más estructurada es realizada por Peltzer-Karpf (2006), parte del psicólogo canadiense Donald Hebb (1949) quien formuló su hipótesis de ensamblajes celulares, la cual decía que para evocar una memoria se requiere reconstituir un patrón de actividad en un grupo completo de neuronas. La visión común de un ensamblaje celular es un patrón espacio-temporal en el cerebro, el cual representa un objeto, una acción o una abstracción tal como una idea. La especialización anatómica de una función es sólo una cara de la moneda; hay también evidencia para la interacción, el procesamiento distribuido, y la interconectividad densa. Los diversos ritmos cerebrales pueden coexistir temporalmente en la misma o en diferentes estructuras, e interactuar con otras. Estas relaciones entre arquitectura anatómica y patrones oscilatorios permiten a las operaciones cerebrales ser conducidas hacia fuera simultáneamente en múltiples escalas de tiempo y de espacio. Este atamamiento de ensamblajes esboza un camino más razonable para mirar el procesamiento cognitivo y lingüístico, asumiendo funciones locales individualizadas, las cuales interactúan para formar un patrón

de actividad neuronal espacio-temporal dependiente del contexto global, esta coordinación temporal entre partes diferentes anatómicas está garantizada por un código temporal. La participación de las neuronas en un particular ensamble se distingue por la sincronía de sus respuestas. Se ha indicado que las oscilaciones en las redes favorecen la selección de inputs, temporalmente liga las neuronas en ensambles, y facilita la plasticidad neuronal, mecanismos que de forma cooperativa soportan representación temporal y consolidación a largo plazo de información. De esta manera se pueden tener dos perspectivas de la propiedad modular y el debate *Nature vs. Nurture*. La posición *A* parte de asumir que el infante nace con módulos innatos y centros relevantes para el conocimiento del mundo físico y el mundo social. La especialización funcional de regiones del cortex cerebral surge a través de mecanismos genéticos y moleculares, y la experiencia tiene el rol de afinarlo. La posición *B* sostiene que muchos de los cambios de comportamiento observados durante la infancia son el resultado de mecanismos generales de aprendizaje y plasticidad. En este punto de vista hay una continua interrelación de factores intrínsecos determinados genéticamente y factores extrínsecos del medio en el que se encuentre. Se propone la existencia de módulos, pero no sólo como núcleos espaciales, sino como núcleos que también dependen del tiempo y de la interacción entre diversas partes del cerebro. De los datos empíricos de Peltzer-Karpf, en niños inmigrantes, reporta que existe un desarrollo escalonado en la adquisición del lenguaje. Y en el desarrollo de dos o más lenguajes, se provee un buen ejemplo para la intercalación entre atractores y asincronía temporal. Finalmente concluye, diciendo que, el lenguaje es un sistema dinámico no lineal y su desarrollo es una combinación elegante entre lo determinado y lo indeterminado. De tal manera que el desarrollo del lenguaje no es un proceso lineal, sino que exhibe fases de turbulencia intermitente, fluctuaciones y estabilidad.

Partiendo de algunas ideas de Patee (1997), como las siguientes; el control y la medición en los sistemas vivos fueron claves para la existencia de símbolos en los organismos vivos, y por otro lado, la descripción simbólica y la descripción en leyes físicas son inconmensurables, ninguna es reducible a la otra. Raczaszek-Leonardi y Kelso argumentan que tratar el lenguaje como un sistema dinámico, permite estudiar el lenguaje con herramientas metodológicas que posibilitan la comprensión de fenómenos relacionados con él. En concreto, la aproximación afirma que para identificar la dinámica de varios y relativamente estables patrones de percepción, cognición y conducta. La ruta usual involucra: identificar variables de patrones relevantes; encontrar parámetros que conduzcan o guíen los cambios del sistema en estos patrones; desarrollar mapas de los patrones observados y cambiar el patrón sobre atractores de la dinámica de variables colectivas; y estudiar la dinámica de los patrones. Lo que se consigue con estos métodos es un modelo con pocas dimensiones, específica-

mente de variables colectivas, que capturan la esencia de la dinámica compleja. Sugieren dos razones para abandonar la definición de símbolos como entidades estáticas (como en la perspectiva computacional) que son manipuladas independientemente de su contenido: (1) la flexibilidad de los símbolos en determinados contextos o sobre el curso evolutivo, y (2) la estipulación de que la función primaria de los símbolos es representar. Sugieren que puede ser más conveniente ver los símbolos como si correspondieran a patrones temporalmente estables, haciendo una función de medición, y actuando como constrictores sobre un proceso en alguna escala de tiempo, tal como se entiende el desarrollo conceptual y de comprensión. La principal consecuencia de la visión dinámica para la teoría del significado es que en lugar de intentar formalizar el significado en un sistema de símbolos, pretende encontrar procesos dinámicos para la formación de formas simbólicas, como también, encontrar como los procesos dinámicos se restringen por su uso. Otro punto es que el lenguaje no puede ser explicable en el nivel del individuo y su saber. Desde esta perspectiva el lenguaje surge como una herramienta para la comunicación del individuo y entonces su estructura no se da sólo por las propiedades cognitivas de los individuos sino que también por el fenómeno cooperativo, más allá del nivel individual. La función de medición de un símbolo, aunque basada en la percepción, se origina de su uso, en el nivel de los eventos comunicativos. De esta manera la presión por la regulación interpersonal y las capacidades perceptivas individuales, son dos fuerzas que dan forma al lenguaje como un sistema auto-organizado (Raczaszek-Leonardi & Kelso, 2008).

De algunas complicaciones en la visión tradicional del léxico, como son; ¿El léxico es pasivo o activo? ¿Cómo está organizado el léxico y cual es su punto de entrada? ¿El reconocimiento se da como un todo o nada, o es un proceso gradual? ¿Cómo compite la interacción del léxico? ¿Cómo se construye la estructura de las sentencias desde las palabras? Elman (1995) se centra en el léxico y en la gramática, y plantea que el léxico puede ser concebido como una estructura en el *state space* (el conjunto total de estados posibles del sistema) y las reglas gramaticales como atractores. Considera el orden de las palabras en alguna sentencia y plantea la problemática que conlleva ordenar los elementos, ya que conlleva múltiples factores como: limitantes sintácticas, fines pragmáticos y semánticos, consideraciones del discurso, y limitantes del procesamiento. También reconoce que el orden lineal de los elementos provee una base pobre para caracterizar las regularidades existentes dentro de una sentencia. Una cuestión interesante surge cuando se considera, que si se pudiese conocer el estado total del sistema que describe el léxico y la gramática, o sea la manera en que se ligan y clasifican los términos, pudiese ser suficiente para estudiar la dinámica en la formación de sentencias. El realiza algunas simulaciones con un modelo conexionista (un sistema

dinámico de ecuaciones en diferencias), que parte de la idea de una red unidireccional (esto significa que su estado en algún punto del tiempo esta en función de su estado anterior), debido a la expresión temporal del discurso de las sentencias. Y finalmente concluye que es difícil saldar todas las dudas posibles con respecto a la formación de sentencias, sin embargo, algunas pueden ser mejor respondidas por medio de sistemas dinámicos (Elman, 1995).

De esta manera, se desarrollan distintas postulaciones sobre la naturaleza del lenguaje, algunas se relacionan más con su origen y otras con su dinámica en algún momento. Por lo cual, se pueden manejar en dos sentidos, las que dan sustento a la existencia del lenguaje y las que describen su comportamiento. Y como bien a señalado Patee, existe una brecha entre lo simbólico y lo espontáneo en las leyes naturales, por lo cual es muy rescatable reconsiderar lo que se entiende por procesamiento de símbolos en el lenguaje y lo que se entiende, en general, de los términos teóricos de lo psicológico.

postscrip

Ahora se exponen algunos temas sacados de la Física y de la Matemática, que podrían servir de base para nuevas formulaciones de lo que se entiende por vida y por psicología. En el libro *Into the cool. Energy flow, thermodynamics and life*, escrito por Eric D. Schneider y Dorion Sagan y publicado en el 2005, se exponen un centenar de ideas concernientes al origen y propósito de la vida desde un punto de vista termodinámico. De lo cual sólo se rescataran dos apartados sobre los sistemas físicos complejos, que tienen que ver con la vida y con la memoria.

Pensar en la individualidad, no resulta intrascendente, pues a partir de esto se comienzan a establecer fronteras. En el caso de las células lo que las hace ser individuales es su membrana bilipídica, sin embargo no resulta fácil pensar, en primeras instancias, sobre el origen de la estructura general de una célula. Algunas hipótesis con respecto al origen de la vida argumentan sobre dos líneas; una que enfatiza el carácter reproductivo, y otra que enfatiza el carácter metabólico. Considerar el carácter reproductivo no resuelve el origen de la vida, sino más bien alimenta el estudio de procesos vivos. Por otro lado, considerar el carácter metabólico introduce serias cuestiones referentes a la vida. Algunas llevan, incluso, a considerar que los procesos que se encargan de deshacer gradientes de concentración, como los tornados, y algunos sistemas físicos (sistemas no considerados vivos), son muy similares a

los procesos vivos. Así, el carácter metabólico de la vida es fundamental para comprender sus procesos y su esencia.

Un experimento físico clave, para esto, es el realizado por Henri Bénard en su tesis doctoral titulada *Les tourbillons cellulaires dans une nappe liquid* (Torbellinos celulares en una lupa líquida), finalizada en 1900. La cual versa sobre unas estructuras convectivas poligonales que surgían en el líquido de revelado que usaban los fotógrafos de la época. Para ello Bénard calentaba el fondo de un recipiente de latón lleno de aceite de esperma de ballena, con vapor a cien grados centígrados. El esperma de ballena es una sustancia cerosa a veinte grados centígrados y se convierte en un fluido viscoso a cuarenta y seis grados centígrados. El sistema era abierto con la superficie del aceite en contacto directo con el aire. Puesto que el aire estaba a temperatura ambiente, unos veinte grados centígrados, Bénard estableció un gradiente térmico de ochenta grados centígrados a través de una película oleosa de un milímetro de espesor. De esta manera surgieron hexágonos simétricos, de un movimiento caótico líquido (sin patrón aparente). Mientras que la conducción transfiere calor sin alguna organización detectable de las moléculas del líquido, la convección disipa calor en ciclos organizados. De esta manera los ciclos permanecen si el gradiente permanece. La transición de la conducción a la convección muestra que hay más de una manera de conseguir lo mismo. Así, a medida que aumenta el gradiente de temperatura, se impone una manera más efectiva de reducirlo. Cuando bifurca el sistema, se produce un cambio cualitativo, permitiendo una mayor producción de entropía. Así cuanto más organizado se encuentra el sistema más eficaz es la producción de deshechos. De esta manera, Bénard, encontró algunas restricciones para la formación de estas estructuras. Esto llevo con el paso de los años a una formulación Matemática, por parte de Rayleigh.

Además de los gradientes de temperatura existen gradientes de presión. Estos fueron aprovechados por el Físico inglés G. I. Taylor, en los llamados *vórtices de Taylor*. Los vórtices de Taylor aparecen de dos en dos, girando en sentidos opuestos; se multiplican por pares con la intensificación del gradiente de presión que los genera, y exhiben una forma de *historia* o ***memoria***. Taylor analizo el criterio de estabilidad de Rayleigh para los fluidos en rotación. En 1923 predijo las condiciones que causarían vórtices. Concibió una serie de experimentos que se valían de gradientes de presión para producir patrones de flujo complejo. Diseño y construyo un dispositivo simple consistente de dos cilindros concéntricos de distinto diámetro; el espacio entre ambos cilindros contenía líquido. Ambos cilindros estaban accionados por un motor rotatorio, lo que le permitía a Taylor variar la velocidad de distinta manera a cada cilindro. La rotación del líquido entre los cilindros generaba fuerzas centrífugas que inducían un gradiente de presión perpendicular a través del fluido. Si se

sobrepasa un determinado punto crítico, los fluidos expuestos a un gradiente de presión rotacional en un dispositivo de Taylor se organizan abruptamente en pares de vórtices $(2, 4, 6, \dots, 2k)$. Cada vórtice gira en sentido opuesto al de su lado. Las moléculas del líquido suben y bajan en perfecta simetría. El número de formas onduladas y su longitud de onda depende de las condiciones iniciales del experimento y de las velocidades de giro de los cilindros. Posteriormente, en 1965, el norteamericano Donald Coles, demostró que en un punto crítico de rotación incrementada, el flujo adopta un patrón de rotación entre ocho diferentes. A medida que aumentaba o disminuía la velocidad del cilindro interno, con el externo en reposo, los patrones de flujo tienden a cambiar de manera discontinua e irreversible. A una misma velocidad de rotación podía haber hasta veinte patrones estables distintos, con diferente número de vórtices y ondas. Cada estado estacionario tenía un número distinto de vórtices. El número de vórtices dependía de la *historia* del experimento.

En el desarrollo de los patrones de flujo de Taylor se produce un retardo o apantallamiento, lo cual se conoce como *histéresis*. Los experimentos son repetibles para toda una gama de números de Taylor, pero el orden y la calidad de los saltos no pueden predecirse sin tener conocimiento del pasado del sistema. El sistema de los vórtices de Taylor tiene una memoria implícita de sus condiciones iniciales. El sistema entero, sometido a una entrada de energía mecánica y una constricción espacial, encuentra vías creativas y matemáticamente descriptibles para alcanzar el equilibrio. Puesto que el camino al equilibrio está localmente bloqueado, el sistema guarda memorias a corto plazo de sus estados pasados. El sistema presente y su historia producen nuevos patrones, los cuales se mantienen siempre que exista un gradiente del cual alimentarse.

Finalmente la existencia de sistemas físicos, que parecen tener alguna especie de memoria, sirve como base para cuestionar la noción de memoria que predomina en la neurociencia, en especial la relacionada con la perspectiva computacional, y de esta manera la búsqueda de un código neuronal para representaciones mentales, puede resultar finalmente vacía.

3.3. Planteamiento del problema

- ¿Cómo han influido las teorías procedentes de la matemática y de las ciencias teóricas en la Psicología?
- De acuerdo a los desarrollos en ciencia teórica ¿Qué características debería tener un Modelo de medición en Psicología?

- ¿Cuál es la importancia de las estructuras y patrones dinámicos, para la existencia de símbolos en el lenguaje?
- ¿Existen patrones dinámicos relacionados a un sustrato material, propios de lo psicológico?

3.4. Objetivos

- Argumentar a favor de la formalización en Psicología.
- Encontrar enlaces entre los distintos niveles de estudio relacionados con la Psicología.
- Proponer la existencia de una forma integral de la psicología por medio de las matemáticas.

Capítulo 4

Método

4.1. Categorías de análisis

- Formulación conceptual de los fenómenos naturales
- Los niveles de organización y los niveles de estudio
- La naturaleza del lenguaje

4.2. Técnicas de análisis

- Recolección de información
- Conjunción de información
- Integración de información

Resultados

La formalización en las ciencias ha producido un gran avance, debido a que la naturaleza se ajusta de una manera inexplicable a la formalización de la matemática, sin embargo, siempre se tiene presente que la finalidad de formalizar los fenómenos naturales es tener descripciones y explicaciones consistentes. La teoría prefabricada con matemática esta siendo utilizada para dar nuevas explicaciones a los fenómenos naturales estudiados. La importancia de la teoría, en cualquier ciencia, aumenta cuando se utiliza matemática y sobre todo cuando las formulaciones se ajustan y predicen el comportamiento futuro del sistema. Es importante considerar la manera en que se formaliza una teoría, debido a que la formulación define la naturaleza del fenómeno. Un ejemplo de esto, se encuentra en la naturaleza del tiempo en la cognición. El desarrollo cultural influye en la formulación de teorías tanto de aplicaciones. La manera en que se formulan las teorías depende de las capacidades representativas que se tienen en la cultura, o de la capacidad individual de las personas que las formulan. Como se ejemplifico con la transición de algunos griegos hacia la Física moderna. El desarrollo de las capacidades representativas, no necesariamente aparece por necesidad práctica o por pragmática, sino más bien se puede hablar de una interrelación, de su desarrollo, entre los medios de representación y las soluciones pragmáticas a problemas en determinados contextos. Se ha encontrado que la influencia de la formalización en la ciencia hacia la Psicología ha sido basta a tal grado que existen debates, sobre que tipo de formalización es más apropiado para la Psicología, como el mostrado entre los sistemas dinámicos y los sistemas computacionales. También se encontró que la formalización en Mecánica ha servido para explicar fenómenos psicológicos, como los propuestos desde la neurociencia teórica.

Se ha visto muy estimulado, el desarrollo de sistemas dinámicos para el desarrollo teórico en Psicología, el ejemplo de esto se dirigió al lenguaje, en donde se encontró que existen propuestas que pretenden desplazar la teoría computacional. La teoría de la medición es un paso importante para cualquier disciplina, en la Psicología se han intentado establecer escalas de índole social, sin embargo queda claro que el grado de desarrollo es precario. La definición de sistemas psicológicos es difusa, no existen criterios claros para la calificación de lo psicológico. La formalización es un paso hacia la teoría difícil de lograr sobre todo cuando se carecen de medios para la medición de un sistema empírico. La medición, en Psicología, no es fácil de obtener debido a su manera de conceptualizarla. Los sistemas relacionales en Psicología no han sido desarrollados, a tal grado como en los sistemas (propios) de la Física, por ello es que es difícil plantear teorías cuantitativas capaces de lograr predicciones explicitas. Parte del problema radica en encontrar funciones que satisfagan

$$xRy \rightarrow f(x)Sf(y).$$

El problema de la representación, plantea un reto mayor para la Psicología que para otras ciencias, como la Física y la Biología. Debido a que, de alguna forma u otra, toda persona cuenta con alguna noción de lo que es su propia mente y conducta. A tal grado, que resulta difícil formalizar sin que se tome en cuenta la noción propia del investigador. Esto provoca que se reconsidere la manera en que se piensa lo psicológico. La representación en Psicología resulta favorecida si se logra mediante medios indirectos, a la propia experiencia, fundamentar la existencia de lo psicológico en lo otro. El problema de la unicidad, deja en claro lo difícil que es lograr transformaciones admisibles rigurosas, que permitan la aplicación de más y más desarrollos logrados en la matemática. Pues de los criterios, que posibilita la *TA*, resulta la aplicabilidad de los métodos matemáticos. Un ejemplo es la imposibilidad de tratar una escala ordinal como si fuera una escala por intervalos, como las múltiples escalas psicológicas que pretender medir la inteligencia o la personalidad. El problema de la significancia, dice que, aunque se pueda asignar números a objetos; la significación de los resultados depende de la validez de los supuestos subyacentes. El *PSIG*, también plantea que los medios de medición, sólo deben ser considerados como medios de predicción, en el mismo grado que son formalizados en términos rigurosos.

La diversidad de puntos de vista en Psicología provoca que sea difícil hablar en un mismo lenguaje, tanto en la academia como en el campo profesional de la Psicología. Las unificaciones en la ciencia han proveído de un marco teórico integro en alguna disciplina y algún campo de estudio. Sin embargo, estas unificaciones han estado mediadas por un mismo lenguaje. Que en el caso de la Física fue la matemática. Para la Psicología sólo han existido propuestas de unificación por medio de la interpretación y conjunción de ideas existentes en otras teorías. Una razón por lo que la Psicología no tiene integraciones por medio de la matemática es por que las teorías en su formulación no cuentan con ese grado de formalización. Los distintos campos profesionales de la Psicología se enfocan en lo humano, por lo cual ha dominado una perspectiva humanista en el campo profesional de la Psicología. Esto, hasta cierto punto, ha impedido el desarrollo de la Psicología como una ciencia. Los distintos niveles, en los que se puede investigar, son relevantes para cualquier formulación teórica. Pues de lo contrario no se estaría tomando en cuenta la unicidad que hay entre los distintos sectores de la naturaleza.

El debate existente entre la postura dinámica y la computacional son muestra de la tentativa para lograr una ciencia formalizada. La concepción del tiempo, en este contexto, es vital para la formulación de cualquier teoría en Psicología. Existe una tendencia, desde la postura

dinámica, ha desplazar la visión computacional en la ciencia cognitiva. Integrar la gran diversidad de datos es un primer acercamiento a la integración teórica. La diversidad de técnicas de estudio y la diversidad de técnicas de análisis, es común a múltiples disciplinas, por lo cual resulta necesario buscar una manera de integrar, o al menos de facilitar el entendimiento de la diversidad de estudios entre disciplinas. La definición de niveles depende de las escalas espacio-temporales y de la formación de estructuras estables. De tal manera que en Psicología, la búsqueda de tales estructuras es una tarea pendiente, y no por que no existan avances, sino por que aun es un campo abierto.

El plantear características propias de cada tipo de sistema, por ejemplo, físicos, biológicos, y psicológicos o cognitivos. Resulta en una mayor accesibilidad y tratamiento de los fenómenos estudiados. La formalización requiere del conocimiento claro del área de estudio, como también, del conocimiento de herramientas matemáticas y formales. Existe la posibilidad de que se consiga desarrollar nuevas formas de operar en sistemas vivos y cognitivos, como fue el desarrollo del cálculo diferencial en mecánica, pero con problemas propios de lo vivo.

Los sistemas, relativos a la Psicología, no sólo, dependen de las características de sistemas físicos y biológicos, sino que también, de características propias, como la capacidad de conocer, y de todas aquellas capacidades psicológicas. Esto plantea, una problemática mayor a diferencia de los sistemas físicos y biológicos. Las interacciones simultáneas, las escalas temporales, la auto-organización, y el asentamiento de lo psicológico, son características imprescindibles de alguna formulación teórica general. La manera en que se representa algún objeto o fenómeno, debe capturar al menos lo esencial. Y la interpretación de la formulación teórica debe ir a la par del conocimiento del grado de simplificación impuesto. Las ecuaciones de reacción-difusión son un ejemplo claro de representación en sistemas biológicos. Y de esta manera el Sistema Nervioso como un medio excitable, brinda la posibilidad de representar procesos a distintos niveles como ondas viajeras. Así, se puede correlacionar la formación de patrones con los eventos psicológicos. Las estructuras formadas en el medio excitable del sistema nervioso, son un primer acercamiento a las estructuras en los sistemas psicológicos. Conceptos, propios de la termodinámica del no equilibrio, pueden brindar avances en la formalización de la Psicología.

La medición no es un proceso limpio y claro, este también depende de los medios teóricos y técnicos para su realización. Así, la observación también esta limitada por los medios cognitivos del sujeto observante.

Una demostración, de la existencia de fenómenos psicológicos, conlleva la implementación

de medios físicos y biológicos. No por que sea reducible a ellos, sino, por que sin ellos lo psicológico no sería posible.

El estudio del lenguaje en chimpancés, es una muestra del desarrollo evolutivo y de la formación de estructuras en animales. A tal grado que de ellas depende la formación de capacidades psicológicas. La relación que hay entre lo innato y lo aprendido, como también, la relación entre el desarrollo y el aprendizaje; son muestras de la existencia de una dinámica relacionada al lenguaje, que depende de variables que podrían llegar a ser representadas por sistemas dinámicos. La existencia de un MSN (metalenguaje semántico natural), permite la comunicación entre distintos puntos de vista culturales. De esta manera, se puede llevar a cabo una comunicación que sea unificada. La evolución de conceptos teóricos, por medio de la MSN, permite un mayor entendimiento de los enunciados implícitos de cualquier teoría.

El desarrollo del lenguaje como un sistema dinámico permite la postulación de principios para la generación de axiomas, o de principios para la formación de términos en algún sistema vivo. La generación de estructuras, que sirvan para representar, conlleva el origen de los significados. La brecha entre los sistemas físicos y biológicos, y los sistemas cognitivos que permiten la representación o la emergencia de significados; son las claves para saldar la brecha entre lo mental y lo físico. Se puede hablar en dos sentidos de sistemas dinámicos en el lenguaje, los que describen su comportamiento y los que describen su origen. El origen del lenguaje, visto con sistemas dinámicos, permitiría su simulación en sistemas artificiales. Finalmente, algunos sistemas físicos como los vórtices de Taylor obligan a que los científicos se replanteen lo que se debe entender por memoria.

Capítulo 5

Conclusiones

La utilización de la matemática en Psicología ha resultado en distintos tipos de MM, sin embargo, el desarrollo de la TM no ha sido suficiente para la descripción cuantitativa de lo psicológico. Las escalas regularmente usadas para intentar medir algún fenómeno psicológico no son capaces de superar TA mayores a las ordinales. Se ha dicho que algunas escalas, como las de inteligencia, son lo más próximo a una escala por intervalos, sin embargo, han sido severamente criticadas debido a que no existe alguna unidad de medición que satisfaga la definición de intervalo. Esto lleva a plantear las siguientes preguntas ¿Es posible obtener alguna medición de lo psicológico? ¿Qué es lo psicológico y como se sabe que existe? ¿Qué tipo de MM describen el comportamiento de lo psicológico y en que se basan tales MM? Las respuestas a estas preguntas son fundamentales para dar una definición de Psicología como disciplina científica, y por ende, para elucidar la ocupación de tal disciplina. Sin embargo, a lo largo del escrito no se ha tomado alguna definición del objeto de estudio de la Psicología, todo ha sido planteado como si ya estuviese dado. Tal acto ahora resulta insuficiente para abordar lo que sigue, por lo cual, se dará una definición provisional, y quizás desechable, del objeto de estudio de la Psicología.

Para definir el objeto de estudio de la Psicología, es preciso considerar algunas características propias de los objetos. En este caso, los objetos son considerados como *singulares*, es decir, como individualidades. Reconsiderando la formación de estructuras en distintos niveles de organización, se puede decir que son invariantes por algún periodo de tiempo y se encuentran en algún espacio dado. Muestra de esta característica son objetos como una roca o algún objeto inanimado. Los objetos animados, o considerados vivos, son objetos que permanecen invariantes, al menos en su organización, en alguna escala de tiempo. Sin embargo, cuando se

considera que todo a lo que se le suele *llamar* objeto tiene un nombre y algún calificativo, y que tal objeto es *observable*, resulta *indemostrable* la existencia de tal objeto sin una noción epistemológica, es decir, que para afirmar la existencia de algún objeto se tiene que considerar la relación y la diferencia entre un objeto y un sujeto. Ante esto resulta intrigante que para poder hablar de objetos se tenga que hablar de sujetos. Pues si bien, no resulta fácil definir o describir lo que es un objeto, es más complicado definir o describir lo que es un sujeto. Considerando que; un sujeto, es considerado capaz de alguna actividad, al menos de observar y calificar, en el tiempo y en el espacio; se puede afirmar que tal sujeto se da cuenta de los objetos. Sin embargo, todo lo que rodea a algún sujeto puede ser considerado como un objeto, pues su observación sólo le permite comprobar la existencia de objetos que interactúan entre si. En este sentido ocurre que algún sujeto, pueda ser considerado como objeto y no como sujeto que pudiera ser. En tal situación, se puede decir que algunos sujetos son capaces de inferir la existencia de otros sujetos, por medio de inferir que algunos objetos, que están animados, son capaces de darse cuenta de la existencia de lo que no son ellos. Para no divagar en cuestiones inabordables resulta clarificador considerar lo que es el conocimiento, es decir, que se tiene que admitir, transitoriamente, la existencia de algún sujeto capaz de conocer. El conocimiento en este sentido es un acto.

En este sentido, se puede hablar de al menos tres tipos de objetos: los objetos inanimados, los objetos animados y los objetos que son capaces de conocer. Pues los dos primeros objetos, propios de la Física y de la Biología, resultan abordables por medio de investigaciones científicas, es decir, por medio de experimentos y de formulaciones abstractas y formales. Los objetos propios de la Física y de la Biología resultan, incluso, conmensurables por medio de explicaciones termodinámicas. Pero los objetos capaces de conocer, y quizás los objetos propios de la Psicología, no resultan fácilmente mesurables con los objetos de la naturaleza. Para poder desarrollar un marco teórico medible que vincule las explicaciones físicas y biológicas con las explicaciones psicológicas, se debe considerar que; así como se habla de un origen de la vida por medio de dinámicas físico-químicas y de que la vida no siempre ha existido, también se puede considerar rastrear el origen de lo psicológico suponiendo que no siempre ha existido. Así, lo psicológico debió de surgir en algún medio dinámico como la vida. Y desde estas consideraciones se puede argumentar que la transición estuvo dada por la capacidad, de algunos objetos, para formular o correlacionar eventos con algún significado, es decir, debió de haber alguna dinámica en donde surgiera lo psicológico.

De este modo, tomar en cuenta los procesos irreversibles (como las dinámicas en los vórtices de Taylor), resulta en reconsiderar el papel que juegan las neuronas en la emergencia de propiedades psicológicas. Si bien en un sistema biológico existen infinidad de procesos irre-

versibles, el caso particular de los estados estables y metaestables del sistema nervioso juega un papel fundamental en la correlación entre estados psicológicos y estados dinámicos del sistema nervioso. Un ejemplo de estados estables, de distintos lugares del sistema nervioso, en correlación a algún estado estable psicológico se encuentra en el sueño. Durante el sueño el sistema nervioso exhibe patrones regulares de frecuencias y de amplitud, en las oscilaciones de voltaje en un EEG. Así, se muestra que existen patrones regulares de la fisiología correlacionados a patrones regulares psicológicos. Sin embargo, puede hacerse la siguiente pregunta ¿Qué tanto tiene que ver la existencia de algún patrón fisiológico con la existencia de algún estado psicológico? Pues si se considera que existe una correlación entre las frecuencias de algunas variables, también usadas en los registros de sueño, como la frecuencia respiratoria, la frecuencia cardíaca, etc., así, no se puede sostener que la existencia de alguna correlación entre lo fisiológico y lo psicológico sustente la existencia de lo psicológico, como si estuviese contenido en lo fisiológico, es decir, la explicación por medio de correlaciones de lo psicológico no es suficiente para fundamentar su existencia. El fundamento fuerte, para argumentar a favor de que lo fisiológico está muy ligado a lo psicológico, está en datos como los que proporcionan los casos clínicos de Broca, o el caso particular de Phineas Gage. Sin embargo, actualmente se considera que no sólo depende de alguna estructura anatómica, o espacio, sino también de la estructura funcional, es decir de un medio dinámico en el tiempo. Como ya se mencionó, la existencia de módulos que no solamente tienen que ser espaciales sino funcionales en una dinámica temporal. En este sentido, cualquier explicación que pretenda dar una sólida fundamentación a la Psicología debe resolver tal problemática. De momento, se tienen que considerar este tipo de correlaciones como suficientes para estudiar los sustratos materiales de lo psicológico.

Por ello es que en esta tesis se argumenta que la transición de un sistema biológico a un sistema psicológico estuvo mediada por la capacidad de representar o de generar significados. Algunos sistemas biológicos y físicos pueden actuar como si tuviesen memoria o fuesen capaces de aprender. De esta manera el aprendizaje y la memoria no involucran necesariamente significación, es decir la memoria y el aprendizaje no son características propiamente psicológicas. La noción dominante sobre la memoria, plantea que es la capacidad de guardar información y recuperarla, sin embargo esta noción involucra la existencia de alguna especie de código (esto generalmente es aceptado en la visión computacional). Por otro lado, el aprendizaje regularmente se entiende como la presencia de dinámicas conductuales ante determinado tipo de patrones, es decir, respecta a la existencia de conductas o acciones aptas ante determinados estímulos. Esto también involucra un cambio en las conductas debido a un cambio de las contingencias, es decir, existe una flexibilidad por parte de las

estructuras que se encargan de desempeñar una acción para con el medio. Y es por medio de algunas estructuras internas al organismo que se puede responder de distintas maneras en distintas circunstancias, o en las mismas circunstancias, o incluso, que se pueda responder de la misma manera ante distintos estímulos. Así, la memoria y el aprendizaje se entrelazan en las estructuras, pues se suele aceptar que cuando se aprende se guarda información (por analogía a un computador). Sin embargo, cuando se considera una alternativa para entender la memoria en los sistemas físicos, resulta que no necesariamente existe un código. Pues como se ejemplificó con los vórtices de Taylor, el trayecto del sistema influye en conductas futuras. Considerar que en algún momento la dinámica del fluido forma patrones como si se registrara, de algún modo, su comportamiento, no sólo deja en duda la necesidad de un código, sino también plantea la posibilidad de que la dinámica misma de algún medio para degradar gradientes puede llegar a exhibir un comportamiento dependiente de su historia. Por lo cual, la carencia de una demostración de la existencia de un programador de los fenómenos computables en la naturaleza, resulta en la anulación de la hipótesis computacional. Y así, se plantea un programa de investigación que busque demostrar lo innecesario de algún código. La alternativa a los procesos computacionales en los sistemas biológicos son los procesos irreversibles, como se ha manejado anteriormente, los procesos irreversibles proveen la posibilidad de formulaciones matemáticas que son medibles con formulaciones teóricas en otras disciplinas. Este programa de investigación plantea una reformulación de lo que se entiende por memoria y por aprendizaje, y la única forma de saber si esta hipótesis es correcta es por medio de investigación.

Esclarecer la naturaleza de la memoria y del aprendizaje es un primer paso para esclarecer la continuidad de los sistemas físicos, biológicos y psicológicos. Pues se puede pensar que son los medios sustentables de la aparición de significados. Una forma de enlazar los conceptos sacados de la hidrodinámica, es decir los vórtices de Taylor, con la hipótesis dominante de la emergencia de capacidades psicológicas en el sistema nervioso es por medio de considerar que el sistema nervioso es un medio excitable. Y de esta manera, el sistema nervioso, exhibe dinámicas que son ultracomplejas, pero con estabilidad estructural y metaestabilidad en su organización espacio-temporal. En los vórtices de Taylor se varía la velocidad de los cilindros para llegar a nuevos estados, por otro lado en el sistema nervioso el medio externo, como también el medio interno, varían variables que controlan la transición de estados. Ante esto, surge la siguiente pregunta ¿Qué variables son suficientes para describir la transición de estados en el sistema nervioso? Esta pregunta es clave para aproximar un modelo de la dinámica global del sistema nervioso. Sin embargo, pueden surgir teorías locales, que describan la metaestabilidad de algún núcleo o vecindad. Como se menciono en el capítulo

dos, autores como Kelso y Freeman, surgieren la existencia de variables para describir el comportamiento microscópico, mesoscópico y macroscópico.

La transición de estados en un medio excitable como el sistema nervioso, posibilita la argumentación de la existencia de procesos irreversibles y de procesos con histéresis. De esta manera se puede tener una influencia del pasado del sistema sin la necesidad de recurrir a la existencia de un código y de información guardada.

Por otro lado, rastrear el origen de sistemas que comienzan a generar significados es más difícil. Por ejemplo, no se puede estar seguro de la existencia de significados en animales inferiores, es decir, hasta la fecha sólo se infieren los significados en otro tipo de animales. Si se fuese muy rígido en cuanto a la existencia de significados en lo otro, en lo que no es experiencia mediata para el observador, se encontraría que de ninguna forma puede un observador darse cuenta de los significados de los demás. Lo que se sabe de la mente como un fenómeno vivido depende netamente de lo que un observador es capaz de conocer de su propia mente. Toda la serie de estudios que tratan sobre el contenido psicológico no ha dejado de ser sólo una inferencia, no se ha podido aislar un contenido psicológico, es decir, pese a todo el avance en investigación no hay mayor cercanía a saber que es lo psicológico más allá de la propia mente del observador. Pero ¿A qué se debe la aparente impenetrabilidad de la experiencia y de sus significados? Desde la perspectiva de la presente tesis, se piensa que los fenómenos psicológicos son irreversibles, con esto se está diciendo que para que exista una experiencia se debe de pasar todo un proceso. Una alternativa que han sugerido para rastrear los significados en otras personas, por dar un ejemplo, está dada por el lenguaje, ya que según ellos, el lenguaje puede transmitir significados y permitir la comunicación. Pero este tipo de propuestas no deja de ser sólo mediante inferencias, las palabras, como estímulos propiciadores de dinámicas, ejercen la recreación de un medio temporal estable. De esta manera, el lenguaje se soporta en una dinámica, y las transiciones pueden correlacionarse a eventos y significados psicológicos, y así, sólo se está infiriendo la existencia de un fenómeno, que el observador sólo conoce por su propia experiencia. Por otro lado, existen argumentos para pensar que es válido considerar que los eventos correlacionados a contenidos con significado son un medio para sustentar la existencia de los significados. Pues si se considera el origen embriológico de los organismos, se tiene en cuenta que existe un origen en común en las formas generales que configuran el cuerpo. Y si es que estas formas juegan un papel predominante en la formación de estructuras (espacio-temporales), como las necesarias para la existencia del lenguaje humano, se puede sugerir que existe una predisposición para la formación de estructuras con contenido de significados. Con esto no se está diciendo que los significados estén preempacados en la genética, sino que las estruc-

turas que están relacionadas a contenidos con significado son propiciadas por el desarrollo del mismo organismo. Así, junto a la argumentación de Wierzbicka, existe la posibilidad de encontrar un conjunto de dinámicas comunes en los animales y en los humanos. Este tipo de dinámicas relacionadas a los eventos psicológicos pueden ser usadas para representar, en un marco teórico común, los objetos propios de la Psicología. Finalmente, desde el punto de vista de esta tesis, los significados y las experiencias coexisten con las dinámicas que las sustentan. Para que se pueda llegar a los contenidos, es necesario reproducir todo el transcurso de la dinámica y así el medio sustentante del contenido lograra ser reproducido junto con su contenido. Rastrear en que sistemas pueden aparecer dinámicas capaces de sustentar significados resulta una tarea difícil, no sólo por la complejidad que involucra, sino también por la aparente discontinuidad entre los significados que son propios de la experiencia cotidiana de cualquier individuo. Pues alegar que los significados son de una naturaleza distinta a la conformación de los sistemas físicos y biológicos es decir que la tendencia a formar estructuras no es de lo micro a lo macro. Quizás, un hábito del pensamiento incomoda para pensar de distinta manera, pues de alguna manera, se piensa que lo pequeño conforma lo grande, también se piensa que lo simple conforma lo complejo, etc., existe una infinidad de razonamientos que son usados como *muletillas* de explicaciones. Un ejemplo de razonamiento contra-intuitivo, se puede dar si se piensa que lo micro existe por que existió primero lo grande, es decir que además de que se puede explicar la existencia de lo grande mediante lo pequeño, también pudiera ser explicado lo pequeño mediante lo grande. La dirección, aparente, en las escalas no es claramente definible. En esta situación sólo se pretende dar muestra de que existe una tendencia en los razonamientos y en las explicaciones que son capaces de hacer los observadores de algún fenómeno, pero estas formas de explicar no son meras ilusiones, pues algunas de estas explicaciones son útiles y tienen características prácticas. Pues si se recuerda que las explicaciones no existen hasta que un observador las formula, entonces las explicaciones tienen implicaciones biológicas y culturales, y por ello es que también puede existir una evolución de los medios explicativos. Así, como en el origen de las matemáticas y el de algunas formulaciones, la existencia de estructuras cognitivas se cataliza con la existencia de medios de conocimiento en la cultura, es decir, la existencia de técnicas instrumentales y teóricas favorece el desarrollo de las explicaciones. Como se ejemplificó con las posibilidades de los griegos con su equipo cultural y cognitivo, y las posibilidades de los Físicos modernos con la mecánica y la experimentación. Si bien no se puede dar una explicación consistente de los significados, si se puede dar una explicación de por que aun no existe esa explicación. En esto se sugiere que aun no existen los suficientes medios para dar una explicación de los significados, debido a que el equipo cognitivo, ni cultural, ha logrado concretar los medios de tal tarea. En esto mismo se sugiere que se

puede estar más próximo si se toman en cuenta los resultados de otras disciplinas. Pues una Psicología desde la Psicología misma esta destinada a un ensimismamiento explicativo.

A lo largo de la tesis se argumenta la posibilidad de formalizar los medios teóricos de la Psicología, y a su vez se encontró que han existido intentos para formalizar algunos campos de estudio como el aprendizaje, la cognición, la memoria, las preferencias sociales, las redes sociales, etc., Sin embargo, las formulaciones, en su mayoría han sido arbitrarias y cualitativas. A esto toca que lo cuantitativo en Psicología aun carece de medios de medición. Faltan medios de medición como las magnitudes y las dimensiones físicas, pero esto no es por que no exista tal posibilidad, sino por que aun no se logra estandarizar un modelo de medición para alguna variable psicológica, lo suficientemente formalizada teóricamente para introducirla en un campo empírico. Dejando abierta la posibilidad de que los términos y las variables que se usan para referirse y explicar la Psicología no sean lo suficientemente sustentables. Pues muchos de los conceptos que se utilizan para explicar los fenómenos psicológicos, tanto en humanos como en animales, siguen teniendo términos como: intenciones, miedo, introversión, deseo, amor, etc. Estos términos resultan útiles para socializar en la vida diaria de las personas, sin embargo, puede cuestionarse su veracidad, pudieran ser conceptos como el flojisto o como las ideas intuitivas que llevaron a pensar la Tierra como una superficie plana y extensa. En este sentido un MM en Psicología debe considerar que tales términos, en su definición, no se refieran a algo que no existe.

Finalmente, si en el surgimiento de la vida, tuvo un papel predominante la existencia de gradientes ¿que es lo que tuvo un papel predominante para que surgieran los significados? Dar una respuesta pretenciosa no seria apropiado. Sin embargo, un medio por el cual se puede llegar a abordar esa pregunta debe de considerar los desarrollos en otras disciplinas. Así, se concluye diciendo que, desde la investigación dinámica, no se esta encapsulando ni reduciendo la psicología humana ni animal, sino con ello se esta aproximando un medio para la formalización de la Psicología.

Referencias

- Allefeld, C., Atmanspacher, H. & Wackermann (2009). Mental states as macrostates emerging from EEG dynamics. *Chaos*, 19(1)
- Arbib, M. A. Caplan, D. & Marshall, J. C. (1982). Neurolinguistic in history perspectiva. En M. A. Arbib, D. Caplan & J. C. Marshall (Eds.), *Neural models of language processes* (pp. 5-24). New York: Academic Press Inc.
- Bochner, S. (1991). *El papel de la matemática en el desarrollo de la ciencia*. Alianza, Madrid.
- Cariani, P. (2001). *Symbols and dynamics in the brain*. Biosystems.
- Chauvet, G. A. (2005). The use of representation and formalism in a theoretical approach to integrative neuroscience. *Journal of Integrative Neuroscience*, 3 (pp. 1-12).
- Coombs, C. H. Dawes, R. M. & Tversky, A. (1970). *Mathematical psychology: an elementary introduction*. Prentice-Hall.
- Davia, C. J. (2006). Life, catalysis and excitable media: a dynamic systems approach to metabolism and cognition. En Jack A. Tuszynski (Ed.), *The emerging physics of consciousness* (pp. 255-292). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Diettrich, O. (2006). The biological boundary conditions for our classical physical world view. En N. Gontier, J. P. V. Bendegem & D. Aerts (Eds.), *Evolutionary epistemology, language and culture: a non-adaptationist, systems theoretical approach* (pp. 67-93). Netherlands: Springer.
- Elman, J. L. (1995). Language as a Dynamical System. En Robert F. Port & Timothy van Gelder (Eds.), *Mind as motion* (pp. 195-225). The MIT Press.
- Freeman, W. J. (2000). *Neurodynamics: an exploration in mesoscopic brain dynamics*. Springer-Verlag London Limited, Gran Bretaña. (pp. 1-24).
- Gelder, T. V. & Port, R. F. (1995). It's about time: an overview of the dynamical approach to cognition. En R. F. Port & T. V. Gelder (Eds.) *Mind as Motion: Explorations in the dynamics of cognition* (pp. 1-43). The MIT Press.
- Gontier, N. (2006). Introduction to evolutionary epistemology language and culture. En N. Gon-

tier, J. P. V. Bendegem & D. Aerts (eds.), Evolutionary epistemology, language and culture: a non-adaptationist, systems theoretical approach (pp. 1-29). Netherlands: Springer.

Henriques, G. (2003). The tree of knowledge system and the theoretical unification of psychology. *Review of General Psychology*, 7, 2, (pp. 150-182).

Jáñez, E. L. (1989). *Fundamentos de psicología matemática*. Madrid: Pirámide.

Kandel, E. R., Schwartz J. H., & Jessell, T. M. (1997). *Neurociencia y conducta*. Madrid: Pearson Educación.

Kelso, J. A. S. (1995). *Dynamic patterns: the self-organization of brain and behavior*. Massachusetts Institute of Technology.

Kiebel, S. J. Daunizeau, J. & Friston, K. J. (2009). Perception and hierarchical dynamics. *Frontiers in Neuroinformatics*, 3, 20 (pp. 1-9).

Koch, S. (1993). "Psychology" or "The Psychological Studies"? *American Psychologist*, 48, 8, (pp. 902-904).

Kuhl, P. K. (2000). Language, mind, and brain: experience alters perception. En Michael S. Gazzaniga, E. Bici, I. Black, C. Blakmore, L. Cosmides, G. J. DiGirolamo, S. M. Kosslyn, J. E. LeDoux, W. J. Levelt, J. A. Movshon, M. I. Posner, P. Rakic, D. L. Schacter, E. E. Smith, J. Tooby & E. Tulving (Eds.), *The new cognitive neurosciences* (pp. 99-115). The MIT Press.

Logan, R. K. (2006). The extended mind of the origin of language and culture. En N. Gontier, J. P. V. Bendegem & D. Aerts (eds.), *Evolutionary epistemology, language and culture: a non-adaptationist, systems theoretical approach* (pp. 149-167). Netherlands: Springer.

Murray, J. D. (2002). *Mathematical Biology*. Springer-Verlag.

Peltzer-Karpf, A. (2006). The self-organization of dynamic systems: modularity under scrutiny. En N. Gontier, J. P. V. Bendegem & D. Aerts (eds.), *Evolutionary epistemology, language and culture: a non-adaptationist, systems theoretical approach* (pp. 227-256). Netherlands: Springer.

Penzel, T. Wessel, N. Riedi, M. Kantelhardt, J. W. Rosting, S. Glos, M. Suhrbier, A. Malberg, H. & Fietze, I. (2007). Cardiovascular and respiratory dynamics during normal and pathological sleep. *Chaos*, 17, 015116.

Raczaszek-Leonardi, J. & Kelso, J. A. S. (2008). Reconciling symbolic and dynamic aspects of language: toward a dynamic psycholinguistics. *New Ideas Psychology*, 26(2), (pp. 193-207).

Stam, C. J. (2005). Nonlinear dynamical analysis of eeg and meg: Review of an emerging field. *Clinical Neurophysiology*, 116, (pp. 2266-2301).

Wierzbicka, A. (2004). Conceptual primes in human languages and their analogues in animal communication and cognition. *Language Sciences*, 26, (pp. 413-441).

Zittoun, T. Gillespie, A. & Cornish, F. (2009). Fragmentation or differentiation: Questioning the crisis in psychology. *Integrative Psychological and Behavioral Science*, 43, (pp. 104-115).

Apéndice A

Conceptos

En la aplicación de las matemáticas en el mundo se usan ecuaciones como Modelos Matemáticos (MM). Con los MM se pretende alcanzar precisión y sencillez, es decir el MM debe ser sencillo para ser manejable, pero también preciso para producir resultados significativos. Una de las premisas que ha dominado el pensamiento científico es que gran parte de la realidad puede describirse matemáticamente y que muchos de los fenómenos pueden ser predecibles. Regularmente se hace una recolección de datos y posteriormente se hace una descripción mediante un MM. A continuación se exponen algunos conceptos sobre sistemas dinámicos, bifurcación y estabilidad estructural. Finalmente se expresan algunos ejemplos aplicados en las neurociencias.

La noción de **sistema dinámico** es la formalización matemática del concepto general de proceso determinista. Los estados futuros y pasados de sistemas físicos, químicos, biológicos, ecológicos, económicos y sociales; pueden predecirse conociendo el estado presente y las leyes que gobiernan su evolución. La noción de sistema dinámico incluye un conjunto de sus estados posibles (*state space*) y una ley de evolución del estado en el tiempo. Todos los estados posibles de un sistema están caracterizados por los puntos de algún conjunto X . Este conjunto es llamado el **state space** del sistema. La especificación de un punto $x \in X$, no sólo es suficiente para describir la posición del sistema, sino también para determinar su evolución. A menudo el *state space* es llamado *phase space*. La evolución de un sistema dinámico significa un cambio en el estado del sistema con **tiempo** $t \in T$, donde T es un conjunto de números. Se consideran dos tipos de sistemas: con tiempo continuo $T = \mathbb{R}^1$, y con tiempo discreto $T = \mathbb{Z}$. El principal componente de un sistema dinámico es una ley de evolución que determina el estado x_t del sistema en el tiempo t , una vez conocido el *estado*

inicial x_0 . El camino más general para especificar la evolución es asumir que para un dado $t \in T$ se define un mapa φ^t en el state space X ,

$$\varphi^t: X \rightarrow X, \quad (\text{A.1})$$

que transforma un estado inicial $x_0 \in X$ en algún estado $x_t \in X$ en el tiempo t :

$$x_t = \varphi^t x_0. \quad (\text{A.2})$$

El mapa φ^t a menudo es llamado **operador de evolución** del sistema dinámico. En el caso de tiempo continuo la familia $\{\varphi^t\}_{t \in T}$ de operadores de evolución es llamado un *flujo*. El $\varphi^t x$ puede no estar definido para todos los pares $(x, t) \in X \times T$. el sistema dinámico con un operador de evolución φ^t definido por $t \geq 0$ y $t < 0$ es llamado invertible. En estos sistemas el estado inicial x_0 , no sólo define los estados futuros del sistema, sino también su conducta pasada. Los sistemas dinámicos no invertibles se describen por operadores de evolución definidos sólo por $t \geq 0$, pero su historia para $t < 0$ puede no ser reconstruida. Para el caso de sistemas continuos; son llamados semiflujos. Es posible que φx_0 sea definido sólo *localmente* en el tiempo, por ejemplo, para $0 \leq t < t_0$, donde t_0 depende sobre $x_0 \in X$. Cuando un sistema continuo en $X = \mathbb{R}^n$ infinidad de acercamientos dentro de un tiempo finito, i. e., $\|\varphi^t x_0\| \rightarrow +\infty$, para $t \rightarrow t_0$. Los operadores de evolución tienen dos propiedades naturales que reflejan el carácter determinista de la conducta de los sistemas dinámicos. Primero para todo,

$$\varphi^0 = \text{id}, \quad (\text{A.3})$$

donde id es la identidad del mapa sobre X , $\text{id } x = x$ para todo $x \in X$. Esta propiedad implica que el sistema no cambia su estado espontáneamente. La segunda propiedad de los operadores de evolución

$$\varphi^{t+s} = \varphi^t \circ \varphi^s. \quad (\text{A.4})$$

Ello significa que

$$\varphi^{t+s} x = \varphi^t(\varphi^s x) \quad (\text{A.5})$$

para todo $x \in X$ y $t, s \in T$, tal que ambos lados de la ecuación precedente estén definidos. La propiedad dice que el resultado evolutivo del sistema en el curso de $t + s$ unidades de tiempo, inicia en un punto $x \in X$, es como si el sistema primero permitiera cambiar del estado x por encima de sólo s unidades de tiempo y entonces evolucionara por encima del siguiente t unidades de tiempo desde el estado resultante $\varphi^s x$. La propiedad significa que la ley gobernante del comportamiento del sistema no cambia. El sistema es autónomo. Para sistemas invertibles el operador de evolución φ^t satisface la propiedad (4) para t y s

negativos y no negativos. En esos sistemas, el operador φ^{-t} es el inverso a φ , $(\varphi^t)^{-1} = \varphi^{-1}$, puesto que

$$\varphi^{-1} \circ \varphi^t = \text{id}. \quad (\text{A.6})$$

Un sistema dinámico discreto con numeros enteros t está completamente especificado por definición sólo un mapa $f = \varphi^1$, llamado *mapa de un tiempo*. Usando (4) se obtiene

$$\varphi^2 = \varphi^1 \circ \varphi^1 = f \circ f = f^2 \quad (\text{A.7})$$

donde f^2 es la segunda iteración del mapa f . Similarmente,

$$\varphi^k = f^k \quad (\text{A.8})$$

para todo $k > 0$. Para muchos sistemas $\varphi^t x$ es una función continua de $x \in X$, y si $t \in \mathbb{R}^1$, es también continua en el tiempo. Una definición formal de sistema dinámico es

DEFINICIÓN: Un *sistema dinámico* es un triple $\{T, X, \varphi^t\}$, donde T es un conjunto de tiempo, X es un state space, y $\varphi^t: X \rightarrow X$ es una familia de operadores de evolución parametrizada por $t \in T$ y satisfaciendo las propiedades (3) y (4).

Los objetos geométricos básicos asociados con un sistema dinámico $\{T, X, \varphi^t\}$ son sus órbitas o trayectorias en el state space y el *retrato fase* compuesto de estas órbitas.

DEFINICIÓN: Una *órbita* que inicia en x_0 es un subconjunto ordenado del state space X ,

$$Or(x_0) = \{x \in X: x = \varphi^t x_0, \text{ para todo } t \in T \text{ tal que } \varphi^t x_0 \text{ esté definida}\}.$$

Las órbitas de un sistema continuo con un operador de evolución continuo son curvas en el state space X parametrizado por el tiempo t y orientado por su dirección de incremento. Las órbitas de un sistema discreto son secuencias de puntos en el state space X enumeradas por el incremento de números enteros. La órbita más simple es el *equilibrio*.

DEFINICIÓN: Un punto $x^0 \in X$ es un *equilibrio* o *punto fijo* si $\varphi^t x^0 = x^0$ para todo $t \in T$.

DEFINICIÓN: Un *ciclo* es una órbita periódica, a saber una órbita no equilibrio L_0 , tal que cada punto $x_0 \in L_0$ satisfaga $\varphi^{t+T_0} x_0 = \varphi^t x_0$ con algún $T_0 > 0$, para todo $t \in T$.

El mínimo T_0 con esta propiedad es llamado el periodo del ciclo L_0 . Si un sistema inicia su evolución en un punto x_0 sobre el ciclo, regresara exactamente a este punto después de T_0 unidades de tiempo. El sistema exhibe oscilaciones periódicas. En el caso de tiempo continuo un ciclo L_0 es una curva cerrada.

DEFINICIÓN: Un ciclo de un sistema dinámico continuo, en una vecindad en la que no hay otros ciclos, es llamada un *ciclo limite*.

En el caso de tiempo discreto un ciclo es un conjunto finito de puntos

$$x_0, f(x_0), f^2(x_0), \dots, f^{N_0}(x_0) = x_0$$

donde $f = \varphi^1$ y el periodo $T_0 = N_0$ es un numero entero. Nótese que cada punto de este conjunto es un punto fijo de la N_0 -ésima iteración f^{N_0} del mapa f . Se pueden clasificar todas las posibles órbitas en un sistema dinámico en puntos fijos, ciclos, y todos los demás.

DEFINICIÓN: El *retrato fase* de un sistema dinámico es un retratado del state space en las órbitas.

El retrato fase contiene información sobre la conducta de un sistema dinámico. Un retrato fase de un sistema dinámico continuo puede ser interpretado como una imagen del flujo de algún fluido, donde la órbita muestra el camino de las partículas y como ellas siguen la corriente. Esta analogía explica el uso del término *flujo* para el operador de evolución en el caso con tiempo continuo. Para una clasificación adicional de los elementos de un retrato fase, se utiliza la siguiente definición.

DEFINICIÓN: Un *conjunto invariante* de un sistema dinámico $\{T, X, \varphi^t\}$ es un subconjunto $S \subset X$ tal que $x_0 \in S$ implica $\varphi^t x_0 \in S$ para todo $t \in T$

La definición significa que $\varphi^t S \subseteq S$ para todo $t \in T$. Un conjunto invariante S consiste de las órbitas del sistema dinámico. Alguna órbita individual $Or(x_0)$ es un conjunto invariante.

DEFINICIÓN: Un conjunto invariante S_0 es llamado *estable* si

- (i) para alguna vecindad lo suficientemente pequeña $U \supset S_0$ existe una vecindad $V \supset S_0$ tal que $\varphi^t x \in U$ para todo $x \in V$ y todo $t > 0$;
- (ii) existe una vecindad $U_0 \supset S_0$ tal que $\varphi^t x \rightarrow S_0$ para todo $x \in U_0$, como $t \rightarrow +\infty$.

Si S_0 es un equilibrio o un ciclo, esta definición se convierte en la definición estándar de equilibrio o ciclo estable. La propiedad (i) de la definición es llamada estabilidad de Lyapunov. Si un conjunto S_0 está conforme a la estabilidad de Lyapunov, las orbitas cercanas no permitirán vecindades. La propiedad (ii) se llama estabilidad asintótica. Hay conjuntos invariantes que tienen estabilidad de Lyapunov pero no estabilidad asintótica. En contraste, hay conjuntos invariantes que muestran atracción pero no estabilidad de Lyapunov, desde que algunas órbitas inician cerca de S_0 eventualmente se aproximan a S_0 , pero sólo después de una excursión fuera de una pequeña vecindad fija de este conjunto.

La forma más común de definir un sistema dinámico es por *ecuaciones diferenciales*. Suponiendo que el state space de un sistema es $X = \mathbb{R}^n$ con coordenadas $(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Si el sistema está definido sobre un colector, esto puede ser considerado como coordenadas locales sobre el. A menudo la ley de evolución del sistema dinámico está dada implícitamente, en términos de velocidades $\dot{x}_i$ como funciones de las coordenadas $(x_1, x_2, \dots, x_n)$:

$$\dot{x}_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

o en el vector de la forma

$$\dot{x} = f(x) \tag{A.9}$$

donde la función vectorial $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$ es supuesta como diferenciable. La función del lado derecho de la ecuación es referida como un campo vectorial, desde que se le asigna un vector $f(x)$ a cada punto x . La ecuación representa un sistema de n ecuaciones diferenciales ordinarias autónomas. Considerando un sistema dinámico que depende de parámetros. En el caso continuo se escribe

$$\dot{x} = f(x, \alpha), \tag{A.10}$$

en el caso de sistemas dinámicos discretos se escribe

$$x \mapsto f(x, \alpha), \tag{A.11}$$

donde $x \in \mathbb{R}^n$ y $\alpha \in \mathbb{R}^m$ representan variables y parámetros fase. Al considerar el retrato fase del sistema, como los parámetros varían, el retrato fase también varía. Hay dos posibilidades: el sistema permanece topológicamente equivalente al original, o su topología cambia.

DEFINICIÓN: La apariencia topológica de un retrato fase no equivalente bajo variación de los parámetros se llama *bifurcación*.

Así, una bifurcación es un cambio del sistema de tipo topológico como sus parámetros pasan a través de un valor crítico de bifurcación. El retrato parametrizado junto con su retrato fase característico constituye un diagrama de bifurcación.

DEFINICIÓN: Un *diagrama de bifurcación* del sistema es una estratificación de su espacio de parámetros inducido por la equivalencia topológica, junto con el retrato fase representativo para cada estrato.

Es deseable obtener el diagrama de bifurcación como resultado de un análisis cualitativo de un sistema dinámico dado. Hay sistemas dinámicos cuyo retrato fase (en algún dominio) no cambia cualitativamente bajo toda perturbación lo suficientemente pequeña.

DEFINICIÓN: Un sistema $\dot{x} = f(x), x \in \mathbb{R}^n$ es *estructuralmente estable* en la región U si algún sistema $\dot{x} = g(x), x \in \mathbb{R}^n$ que es lo suficientemente C^1 -cerrado en U es topologicamente equivalente en U a $\dot{x} = f(x), x \in \mathbb{R}^n$

La noción de equivalencia topológica de sistemas dinámicos aparece en la publicación de Andronov y Pontryagin (1937) dedicado a los sistemas estructuralmente estables sobre el plano. Y es extensamente usado en teoría de singularidad para clasificar singularidades de mapas y sus deformaciones.

Las ecuaciones que describen la evolución de un sistema son el elemento central de la dinámica. Ello dice como un conjunto de variables dinámicas cambian de acuerdo con las propiedades implícitas del sistema. Ejemplo de una ecuación de evolución es la segunda ley de la mecánica de Newton

$$\frac{d\mathbf{v}(t)}{dt} = \frac{\mathbf{F}}{m}, \quad \frac{dx(t)}{dt} = v(t) \quad (\text{A.12})$$

donde $\mathbf{v}(t)$ es la velocidad de un objeto en la posición $x(t)$. El lado izquierdo de la ecuación expresa la derivada temporal, la razón de cambio de una variable. El lado derecho liga esos cambios a las propiedades del sistema. El propósito del *cálculo* es comprender la evolución resultante de esas variables como una función del tiempo. En tal ecuación, es posible encontrar una solución explícita para la evolución de x en términos del tiempo,

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{x}(0) + \mathbf{v}(0)t + \frac{\mathbf{F}t^2}{2m} \quad (\text{A.13})$$

donde $\mathbf{x}(0)$ y $\mathbf{v}(0)$ son las condiciones iniciales de $\mathbf{x}$ y $\mathbf{v}$. Esta ecuación permite conocer la posición futura de un objeto, dados su estado común y la aplicación de una fuerza constante. Se puede ver que conforme el tiempo incrementa el lado derecho de la ecuación,

será dominada por el termino cuadrático t^2 , así un objeto sujeto a una fuerza constante será desplazado rápidamente. En sistemas más complejos, como los que se encuentran en neurociencia, tal solución cerrada y explícita no podrá ser encontrada. Pero se podrá comprender la naturaleza dinámica del sistema sin tener que contar con una solución algebraica.

El requisito esencial para una ecuación de evolución es un conjunto de variables, las cuales se pueden escribir con $\mathbf{Z}(x, t)$ y un conjunto de parámetros del sistema denotados por α . Con esto se puede representar el estado común de las propiedades, como los potenciales transmembranales, las ráfagas de potenciales, potenciales de campo extracelular, etc., es decir, como varía en el tiempo t y en la posición $\mathbf{x}$. Los parámetros α son aquellas propiedades que pueden considerarse como estáticas, o con variación lenta en comparación a las variables $\mathbf{Z}$ del sistema. Los potenciales de Nernst, la velocidad de conducción y las constantes de tiempo de los canales iónicos, son parámetros neuronales típicos. Todo es combinado con un operador diferencial, el cual introduce el factor crucial de cambio, y una expresión algebraica, la cual determina como cambian las propiedades del sistema. A continuación se muestran algunos tipos de ecuaciones, que son usadas para describir sistemas neuronales.

Los ***ecuaciones en diferencias***: tiempo discreto y espacio discreto.

$$\mathbf{Z}(t + 1) = \mathbf{F}_a[\mathbf{Z}(t)] \quad (\text{A.14})$$

donde t ocurre de forma discreta como $(0, 1, 2, \dots, n)$. El subíndice a denota los parámetros de $\mathbf{F}$, y a esto se le suele llamar ecuación logística;

$$\mathbf{F}_a[Z(t)] = aZ(1 - Z) \quad (\text{A.15})$$

es un notorio ejemplo, unidimensional (escalar) de una ecuación en diferencias. El mapa logístico, y otras formas algebraicas simples, han sido usadas extensivamente para elucidar propiedades básicas y genéricas de dinámica no lineal. Ejemplos de sus usos incluyen; la elucidación de principios fundamentales de dinámica caótica, y la transición de movimientos regulares a caóticos.

Las propiedades espacio-temporales de la dinámica no lineal, pueden, también ser estudiadas dentro de este marco teórico, a través del uso de *coupled difference maps*

$$\mathbf{Z}(x_i, t + 1) = \mathbf{F}_a\left(\mathbf{Z}(x_i, t), \sum_{j \neq i} \mathbf{H}_c[\mathbf{Z}(x_j, t)]\right) \quad (\text{A.16})$$

donde x_i es la posición espacial del i -ésimo subsistema. La *coupling function* $\mathbf{H}_c$ introduce la actividad, de todos los otros nodos, en la dinámica de este mismo. El subíndice c denota la

fuerza de la influencia del acoplamiento y es normalizado tradicionalmente, así que $0 \leq c \leq 1$. Si $\mathbf{F}$ representa una dinámica neuronal local, $\mathbf{H}$ incorpora la característica espacial de la conectividad. Justamente un mapa de diferencias puede ser usado para elucidar principios dinámicos básicos, los mapas en diferencias acoplados permiten comprender los fundamentos de sincronización dinámica. A menudo la influencia de la dinámica local contra la dinámica global puede ser parcialmente linealizada como

$$\mathbf{Z}(x_i, t + 1) = \mathbf{F}_a[\mathbf{Z}(x_i, t)] + \sum_{j \neq i} \mathbf{H}_c[\mathbf{Z}(x_j, t)] \quad (\text{A.17})$$

un ejemplo, de modelo neuronal de mapas en diferencias acoplado es el que McCulloch y Pitts (1943) formularon, para abstraer el funcionamiento de neuronas, mismo que ha desembocado en el desarrollo de las redes neuronales en computación.

Ecuaciones diferenciales ordinarias (EDOs): El tiempo continuo y el espacio discreto. Un acercamiento al realismo en fisiología es manejar el tiempo como continuo. Esto se puede lograr explorando los sistemas neuronales, en donde la evolución es gobernada por una EDO,

$$\frac{d\mathbf{Z}(t)}{dt} = \mathbf{F}_a[\mathbf{Z}(t)] \quad (\text{A.18})$$

donde $\mathbf{Z}(t)$ pretende representar un conjunto de variables dinámicas. Esta es la forma de una ecuación para un modelo neuronal tradicional como el modelo de Hodgkin y Huxley en el que $\mathbf{Z}_1 = V$ es el potencial transmembranal y $\mathbf{F}$ toma la forma,

$$\mathbf{F}_a[V(t)] = \sum_{ion} f_{ion}[V(t)] + I \quad (\text{A.19})$$

La sumatoria se toma de todos los canales iónicos. Para cada especie de ion

$$\frac{df_{ion}(t)}{dt} = g_{ion}[V(t)] \quad (\text{A.20})$$

representa la dinámica de la corriente en los canales dependientes de voltaje locales, para cada especie de ion. I representa corrientes sinápticas en las cuales fluye a través de canales *ligand-gated* o a través de electrodos introducidos experimentalmente. Como con las ecuaciones en diferencias, la dinámica espacio-temporal es catalogada empleando una función de acoplamiento $\mathbf{H}_c$ para introducir la interdependencia entre sistemas,

$$\frac{d\mathbf{Z}(x_i, t)}{dt} = \mathbf{F}_a \left(\mathbf{Z}(x_i, t), \sum_{j \neq i} \mathbf{H}_c[\mathbf{Z}(x_j, t)] \right) \quad (\text{A.21})$$

Por ello, si el modelo (19) de la dinámica de un sistema de sólo una neurona, y el modelo (21) añade la interacción entre dos o mas sistemas, creando una red neuronal dinámica.

El ensamble es discreto espacialmente con un numero finito N de subsistemas así que los subíndices $i, j = 1, 2, \dots, N$. Como con las ecuaciones en diferencias discretas acopladas, eso a menudo es posible para la influencia de la bipartición de los términos distantes y locales, en (21) como

$$\frac{d\mathbf{Z}(x_i, t)}{dt} = \mathbf{F}_a(\mathbf{Z}(x_i, t)) + \sum_{j \neq i} \mathbf{F}_c[\mathbf{Z}(x_j, t)] \quad (\text{A.22})$$

Tal es el caso cuando axones periódicos localmente y los aferentes *long-range* de cada proyección sobre clases diferentes de neuronas. En este caso los aferentes *long-range* son modelados como acciones, a través de canales de iones *ligand-gated*, y por vía de corrientes sinápticas. Por lo tanto,

$$\frac{d\mathbf{Z}(x_i, t)}{dt} = \sum_{ion} f_{ion}[\mathbf{Z}(x_i, t)] + I(x_i, t) \quad (\text{A.23})$$

donde la corriente sináptica inducida,

$$I(x_i, t) = \sum_j \mathbf{H}_c[\mathbf{Z}(x_j, t - \tau_j)] + I_{externa}, \quad (\text{A.24})$$

introducir el input aferente desde otros sistemas $\mathbf{Z}(x_j, t)$ que llega después del desfase τ_j , permitiendo una velocidad de conducción finita. A causa de que el espacio es discreto, el desfase del tiempo está también distribuido de manera discreta.

Ecuaciones Integrodiferenciales: tiempo continuo y espacio continuo. En el caso de que se desee modelar los inputs a una región x_i surgiendo de un ensamble neuronal distribuido continuamente, se integra la corriente aferente inducida (24) continuamente sobre el espacio,

$$I(x_i, t) = \int_{\Omega} \int_{-\infty}^t h(\mathbf{x} - \mathbf{x}') \mathbf{H}[\mathbf{Z}(\mathbf{x} - \mathbf{x}', t - t')] dt' d\mathbf{x}', \quad (\text{A.25})$$

donde la integración espacial $d\mathbf{x}'$ se toma sobre el dominio espacial Ω del sistema neuronal. Hay que notar que esto también requiere de que se integre sobre el actual desfase temporal distribuido continuamente, t' . También se tiene que particionar la función de acoplamiento en las dos partes, H y h . H determina cuales variables, de algún sistema dado, entraran en el acoplamiento inter-sistema, y como se hará. Típicamente H tendrá dos componentes, una función de activación que convierte el potencial de membrana local de sistemas distantes en razones de encendido ρ —los cuales se propagaran hacia fuera— y las sinapsis η las cuales modelan como se propaga el potencial de acción, e influencia potenciales post-sinápticas, y finalmente como llega,

$$\mathbf{H}[\mathbf{Z}(\mathbf{x}, t)] = \eta(t) \rho(\mathbf{Z}(\mathbf{x}, t)) \quad (\text{A.26})$$

La función que acopla h captura la densidad espacial de la fuerza del input aferente. Esta función es también conocida como la *synaptic footprint* a causa de que refleja la naturaleza

y densidad de conexiones sinápticas y como ello cambia con la distancia de su origen. Sustituyendo los inputs sinápticos (25) en la diferencial (23) y colapsando toda contribución local en

$$N[\mathbf{Z}(\mathbf{x}, t)] = \sum_{ion} f_{ion}[\mathbf{Z}(\mathbf{x}, t)] \quad (\text{A.27})$$

obteniendo

$$\frac{d\mathbf{Z}(\mathbf{x}, t)}{dt} = N(\mathbf{Z}(\mathbf{x}, t)) + \int_{\Omega} \int_{-\infty}^t h(\mathbf{x}-\mathbf{x}') \mathbf{H}(\mathbf{Z}(\mathbf{x}-\mathbf{x}', t-t')) dt' dx', \quad (\text{A.28})$$

una ecuación integrodiferencial. Se le puede considerar una forma general de un modelo neuronal masivo por la naturaleza exacta del *synaptic footprint*, quedan inespecíficos la función de activación y el cúmulo sináptico.

Ecuaciones diferenciales parciales: tiempo continuo y espacio continuo, pero con limitaciones de conectividad. En algunos contextos, puede ser preferible la expresión (28) con tan sólo derivadas espaciales y temporales, más que una combinación de derivadas temporales con integrales espaciales y diferenciales. La representación diferencial es usada si la función de conectividad h es lo suficientemente simple, llana y transitoriamente invariante, por que entonces sólo unas cuantas derivadas espaciales son necesarias para capturar la conectividad. Por ejemplo, dada una forma apropiada de h y H (28) puede escribirse como una ecuación diferencial parcial de la forma

$$\frac{\partial^2 \mathbf{Z}(\mathbf{x}, t)}{\partial^2 t} + a \frac{\partial \mathbf{Z}(\mathbf{x}, t)}{\partial t} + b \frac{\partial^2 \mathbf{Z}(\mathbf{x}, t)}{\partial^2 x} + c \mathbf{Z}(\mathbf{x}, t) = (d + \frac{\partial}{\partial t}) \rho(\mathbf{Z}(\mathbf{x}, t)) \quad (\text{A.29})$$

Los coeficientes a , b , c y d dependen de los parámetros del sistema tales como velocidades de conducción y el parámetro σ de la función *synaptic footprint*. Tal ecuación expresa la evolución de los sistemas neuronales, continuamente en el espacio y en el tiempo, pero con tipos específicos de conectividad.

Ecuaciones diferenciales estocásticas. Son todas las ecuaciones que se acercan a describir la evolución del sistema de cada uno de los valores $\mathbf{Z}$ del sistema de interés. En el caso de sistemas microscópicos, estas variables pueden incluir potencial de membrana y conductancia de canales iónicos de un pequeño *patch* de membrana celular. Las ecuaciones de evolución, tales como (22) y (29) pueden también describir sistemas neuronales en escalas mesoscópicas ($>\text{mm}$) y macroscópicas ($\sim\text{cm}$). En tales casos las variables de interés representan valores medios promediados sobre escalas apropiadas. Por lo cual las ecuaciones son manejadas como aproximaciones de campo. El procedimiento anterior añade valores describiendo las ecuaciones de evolución que capturan la dinámica por la distribución de

probabilidad $p(x, t)$. Tales modelos permiten inputs estocásticos a un sistema, en el que no obstante, se obedece a reglas deterministas. Esto toma la forma

$$\frac{\partial p(\mathbf{x}, t)}{\partial t} = \frac{\partial((f + s)p(\mathbf{x}, t))}{\partial x} + \frac{w^2}{2} \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} \quad (\text{A.30})$$

donde s representa el input estocástico al sistema y f es la forma de la dinámica determinista.

Kuznetsov, Y. A. (1998). *Elements of Applied Bifurcation Theory*. New York: Springer-Verlag.

Breakspear, M. & Jirsa, V. K. (2007). Neural Dynamics and Brain Connectivity. En Víctor K. Jirsa & A. R. McIntosh (Eds.), *Handbook of Brain Activity* (pp. 3-64). New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.