COMPROMISO ONTOLOGICO Y MECANICA CUANTICA

G.E. Romero*
Instituto Argentino de Radioastronomía, C.C. 5, 1894 Villa Elisa.

H. Vucetich**
Departamento de Física, Universidad Nacional de La Plata, C.C. 67, 1900 La Plata.

Se realiza una revisión crítica de diferentes criterios de compromiso ontológico propuestos en la literatura y se proporciona un criterio alternativo basado en una redefinición formal del término "ontologia". Esto permite calcular los presupuestos existenciales de teorías aximatizadas sin tener que recurrir a lenguajes nominalistas para evitar una ontologia de entidades abstractas. Se aplica el criterio propuesto a la Mecánica Cuántica No-Relativista determinándose explícitamente la ontología implicada.

I. INTRODUCCIÓN

Se suele llamar "problema ontológico" a la cuestión concerniente a las presuposiciones existenciales de las teorías. Más precisamente: dada una teoría T, se trata de determinar qué tipo de entidades deben aceptarse como existentes si se acepta T. El problema ontológico no es, pues, el problema de lo que hay, sino más bien de lo que T supone que hay.

Este problema es de particular importancia física, donde ciertas teorías altamente formalizadas se prestan a interminables discusiones de interpretación. Tal es el caso, entre otros, de la Mecánica Cuántica. Se discute a menudo sobre si esta teoría presupone la existencia de entidades tales como observadores, sujetos cognoscentes, y aparatos de medida. Son este tipo de cuestiones (junto con otras de carácter tradicional tal como la existencia de entidades abstractas) las que hacen necesario un criterio de compromiso ontológico que permita fijar sin ambigüedades la ontología aceptada por una teoría. Esto sólo será posible en la medida que se cuente con una definición rigurosa del término "ontología".

En este trabajo se realizará una revisión crítica de algunos criterios de compromiso ontológico, proporcionándose un criterio alternativo basado en una caracterización formal de lo que se entiende por ontología. Como aplicación se realizará el análisis ontológico de la Mecánica Cuántica No-Relativista. En el apéndice II se aclara la notación empleada.

II. COMPROMISO ONTOLÓGICO

Quine[1] ha señalado, basándose en parte en la teoría de las descripciones de Russell[2], que la ontología presupuesta por un contexto dado no se revela por el sólo análisis de su vocabulario, ya que los sustantivos de un vocabulario pueden ser sincategoremáticos sin por ello carecer de sentido los enunciados en los cuales figuran. No es el uso de un sustantivo, sino su uso *designativo*, lo que compromete a incluir el objeto designado por el sustantivo en la ontología del contexto. Quine ha propuesto, entonces, un criterio de compromiso ontológico basado en el uso de variables ligadas a cuantificadores lógicos dentro de un contexto formalizado[3,4], ya que las variables de cuantificación poseen una definida función pronominal, siendo los pronombres los medios de referencia básicos del lenguaje. Más precisamente, Quine ha sugerido el siguiente Criterio:

CRITERIO I: "Una entidad es supuesta por una teoría si y solo si debe ser incluida entre los valores de las variables a fin de que los enunciados afirmados en la teoría sean verdaderos."[5]

Así, Quine propone que se atienda al comportamiento de las variables cuantificadas sin prestar atención a los nombres. Este criterio, que permite eliminar algunos viejos prejuicios filosóficos, muestra, sin embargo, deficiencias que vuelven inaceptable su empleo para calcular ontologías en el marco de teorías físicas.

Consideremos, por ejemplo, el siguiente enunciado categórico: "todos los electrones tienen masa m_e". Este enunciado puede ser expresado mediante un esquema cuantificacional cerrado de la forma:

$$(x)(x \text{ es un electrón} \supset M(x) = m_e) \qquad (1)$$

* Becario CONICET
** Investigador CONICET

El esquema (1) puede ser escrito en notación cuantificacional existencial como:

$$-(\exists x)(x \text{ es un electrón}\cdot -(M(x)=m_e)) \qquad (2)$$

Los esquemas (1) y (2) son lógicamente equivalentes por lo que tienen el mismo importe ontológico. Si se aplica el Criterio I a (2) obtenemos un conjunto vacío, ya que no es necesario que exista entidad alguna a fin de que (2) sea verdadero. En particular no es necesario que existan electrones. Este resultado puede generalizarse a toda cuantificación universal:

$$(x)(\Phi x \supset \Psi x) \equiv -(\exists x)(\Phi x \cdot -\Psi x) \qquad (3)$$

que es independiente de las interpretaciones de Φ y Ψ. Así, según el Criterio I, las variables ligadas a cuantificadores universales no generan compromisos ontológicos ya que los esquemas que las involucran puedan ser verdaderos aún con dominios vacíos.

Las leyes de la física se expresan, dentro del contexto de cualquier teoría por medio de esquemas del tipo (1). La aplicación estricta del Criterio lleva, pues, al paradógico resultado de que los referentes de tales leyes no son presupuestos por las teorías: no sería necesario que existieran para las teorías fuesen verdaderas. Sin embargo, de no existir los referentes las teoría no podrían ser contrastadas y por lo tanto no se le podría atribuir grado de verdad[6].

Church[7] ha señalado que un criterio de compromiso ontológico debería estar asociado específicamente con el cuantificador existencial más bien que con el uso de variables ligadas en general. Concretamente ha propuesto la siguiente alternativa al criterio de Quine:

CRITERIO II: "El esquema $(\exists x)$ M implica un compromiso ontológico con entidades x tales que M".

De esta manera vemos que, según Church, la formulación de toda teoría debe ser tal que en ella se cuantifique existencialmente sobre todas las entidades que se suponen y nada más que sobre ellas. Así, un esquema como (1) debería ser precedido en la formulación de la teoría por un esquema cuantificacional existencial cerrado del tipo:

$$(\exists x)\ (x \text{ es un electrón}) \qquad (4)$$

Los Criterio I y II pueden implicar compromisos ontológicos con entidades abstractas a menos que las teorías sean formuladas en un lenguaje formalizado de tipo nominalista como los propuestos por Goodman y Quine[8]. Sin embargo, no es posible expresar los complejos formalismos utilizados por las teorías físicas mediante una reducción nominalista: las entidades abstractas implican una economía tal de lenguaje que no podemos prescindir de ellas al formular nuestras teorías.

El Criterio II no solo tolera las entidades abstractas sino que les asigna un status ontológico idéntico al de las entidades físicas. Como ejemplo consideremos el siguiente esquema, usual en cualquier formulación de la Mecánica Cuántica:

$(x)\ (\exists y)\ (\exists z)$ (x es un microsistema $\cdot$ y es un conjunto de operadores hermíticos sobre un espacio de Hilbert $\mathcal{H}\cdot$ z es un rayo en $\mathcal{H}\cdot$ los autovalores de los elementos de y sobre z corresponden a los valores de las variables dinámicas de x)

Según el Criterio II esta esquema no nos compromete con microsistemas paro sí nos compromete con un conjunto de entidades matemáticas abstractas, esto es, con una ontología platónica. No insistiremos en las razones para rechazar una ontología de este tipo, pero el lector interesado puede consultar con provecho los conocidos trabajos de Goodman[9] y Bunge[10].

Carnap[11] ha sostenido que no es necesario renunciar a las entidades abstractas ya que éstas no implican compromisos ontológicos. Más aún, Carnap ha afirmado que no hay compromisos ontológicos en absoluto: "nuestra postura es que la introducción de nuevas maneras de hablar no necesita ninguna justificación teorética porque no implica ninguna aserción de realidad"[11]. La decisión de utilizar un lenguaje de cosas es una decisión pragmática, como lo es la de usar lenguajes abstractos o mixtos; carece de sentido preguntar si hay cosas en sí o entidades abstractas en sí: sólo hay maneras de hablar. Así, no se debe pensar que la aceptación de un marco lingüístico implique una doctrina concerniente a la realidad de las entidades en cuestión[12].

Concordamos con Carnap en el sentido de que una ontología no se forma con "lo que hay", sino con lo que T presupone que hay: la ontología es una cuestión interna de la teoría. Esto no significa que los problemas ontológicos deban ser considerados como pseudoproblemas, sino que no deben ser tratados fuera del marco de una teoría particular. Un criterio de compromiso ontológico no será entonces superfluo: será un instrumento útil para clarificar la estructura de la teoría.

Creemos que parte de la gran confusión que existe alrededor de los problemas ontológicos proviene de la falta de una definición precisa de ontología. Una definición tal debería tener en cuenta la estructura de las teorías científicas y la metodología de la aplicación. No puede ser formulada desde un punto de vista puramente lógico, divorciado de la práctica epistemológica.

III. DEFINICION SINTETICA DE ONTOLOGIA

Toda teoría física T es un sistema logístico formalizado dotado de una interpretación semántica. Los sistemas de este tipo presuponen un cierto conjunto de teorías previas (no necesariamente físicas) que llamaremos presupuestos de T. La estructura formal de T consta de:

1) Una base de conceptos primitivos no definidos que genera el espacio conceptual E_T de la teoría en concordancia con las reglas sintácticas explicitadas en los presupuestos.

2) Un conjunto finito de enunciados primitivos que relacionan los elementos de la base generadora dotándolos de significado físico.

3) Un conjunto infinito de enunciados derivados.

La conjunción lógica de los enunciados 2) se llama base axiomática de T: $\mathscr{B}_A = \bigwedge_{i=1}^{n} A_i$, donde A_i son los axiomas. Los enunciados derivados se llaman teoremas. La propia teoría se define como el conjunto de consecuencias lógicas y semánticas de los A_i: $T = \mathscr{C}_{is}(\mathscr{B}_A)$. De esa manera todo enunciado de T es, o bien un primitivo, o bien un teorema.

En este contexto llamaremos espacio factual de T (E_F) al conjunto de entidades espacio-temporales aceptado por T, y llamaremos espacio meramente conceptual de T (E_C) a; conjunto diferencia E_T-E_F:

$$(E_c = \{x: x \in E_T \cdot x \notin E_F\}$$

Proponemos, entonces la siguiente
DEFINICION SINTETICA DE ONTOLOGIA: La ontología φ aceptada por una teoría T es la restricción factual del conjunto unión de todos los dominios de las variables ligadas a cuantificadores lógicos que figuran en la formulación axiomática de T.*

El criterio de compromiso ontológico se vuelve ahora trivial: una teoría se compromete con x si y solo si $x \in \varphi$.

Obsérvese que de acuerdo con nuestra definición , el compromiso ontológico no se contrae por el uso de variables ligadas, sino por la cuantificación sobre un espacio factual de entidades. La cuantificación sobre espacios meramente conceptuales no genera compromiso ontológico, de manera que no es necesario utilizar lenguajes nominalistas para evitar ontologías platónicas. Por otra parte, la cuantificación universal sobre un espacio factual sí generará compromisos, en forma tal que esquemas como (1) implican la aceptación de electrones, lo cual está de acuerdo con la practica científica.

Quine[13] ha señalado que, de ser válida su tesis de la inescrutabilidad de la referencia, la ontología de toda teoría debe ser relativa a una teoría de fondo. Si la ostención es eliminada como instrumento de clarificación referencial, los referentes sólo se podrán definir con precisión en un lenguaje de fondo, de manera tal que sólo relativamente a él se podrá fijar la ontología.

La teoría de fondo a la cual es relativa la ontología de todas las teorías físicas es, según nuestra interpretación, la teoría relacional del espacio-tiempo[10]. En nuestra formulación, el espacio-tiempo no es una entidad física y no tiene extensión ontológica. Se trata de una metateoría que nos permite representar las relaciones entre fenómenos.

Existe toda una familia de teorías geometrodinámicas[14] que asignan al espacio-tiempo un importe óntico, más aún, toda su ontología se reduce al espacio-tiempo. Sería interesante conocer explícitamente la teoría de fondo a la cual son relativas estas ontologías, pero el fracaso de estas teorías a nivel de física de partículas ha producido su abandono, al menos temporariamente[15]. Aún así, sería de utilidad conocer una formulación axiomática precisa de las mismas.

Como puede verse de la definición sintética, la ontología no depende del grado de verdad de la teoría: toda teoría presupone una ontología, interdependiente de haber sido contrastada satisfactoriamente o no. No concordamos, pues, con la idea de Dalla Chiara y Di Francia[16] sobre niveles ontológicos. De estos niveles el más profundo sería, según los autores, aquel relativo a una teoría "verificada por la experiencia": "Puesto que tal verificación tiene sentido solo en un dominio D determinado históricamente, nuestro compromiso ontológico es relativo a D. Es obvio, por lo tanto, que el alcance ontológico de una determinada entidad física puede variar con el tiempo"[16](p.42).

Creemos que esto es incorrecto: una vez que una teoría ha sido axiomatizada la ontología queda fija relativamente a otra teoría (también axiomatizada) de fondo. Sólo puede entonces haber una variación de la ontología si se modifica a) la base axiomática o b) la teoría de fondo. En el caso a) ya no se trata con la misma teoría: ontologías distintas corresponderán a teorías distintas. En el caso b) lo que cambia es la representación de la ontología, manteniéndose intacto el alcance ontológico. La introducción de criterios históricos o sociológicos en ámbitos puramente formales tiende a generar error, ya que las cuestiones ontológicos de las teorías son tratables únicamente mediante herramientas compatibles con la estructura de las mismas, esto es, mediante la lógica y la semántica formal.

IV. APLICACION A LA MECÁNICA CUANTICA

A modo de ejemplo aplicaremos el criterio de compromiso ontológico propuesto a la Mecánica Cuántica No-Relativista. Para poder aplicar con provecho el criterio, la teoría debe estar axiomatizada en la forma descripta en la sección III. Aquí utilizaremos la traducción a lenguaje lógico de la axiomatización desarrollada en un trabajo previo[17]. Para los aspectos matemáticos y físicos, así como para la explicitación de la base generadora, los presupuestos y los principales teoremas, se deberá consultar aquel trabajo. Aquí destacaremos solamente la estructura lógica y la ontología implicada.

En el apéndice I se explícita la base axiomática simbolizando por x o por x_i las variables que toman sus valores de dominios factuales se simbolizan por y o y_i. Esta diferenciación no es esencial, pero ayuda en la lectura. Las letras al pie de los cuantificadores indican los dominios; así el esquema

$$(\exists x)_T (x \hat{=} A)$$

se lee "existe x perteneciente a T tal que x representa a A", entendiéndose por T un dominio meramente conceptual.

La base axiomática de la teoría es:

$$\mathcal{B}_A = \bigwedge_{i}^{32} A_i$$

siendo la teoría:

$$T = C_{is}(\mathcal{B}_A)$$

Todos los teoremas standard de la teoría pueden ser deducidos de la base propuesta, incluyendo entre otros la forma del Hamiltoniano para microsistemas libres, las ecuaciones de Schrödinger y de Heisenberg, el teorema de la amplitud de probabilidades, las desigualdades de Heisenberg, la forma explícita de las matrices de Pauli. la expresión para el operador de spin y las reglas de superselección de Bargmann.

Para detalles véase el trabajo previamente citado.

La ontología será, según nuestro criterio, la unión de los dominios factuales de las variables ligadas. Así, por ejemplo, en un axioma como A_{10}:

$(y)_\Sigma (\exists x)$ $(x$ *es un rayo* $\Psi \subset \mathcal{H} \cdot x$ está en correspondencia con el estado físico de y)

que puede leerse como "para todo objeto que es elemento del conjunto factual Σ existe un objeto conceptual que es un rayo de un espacio de Hilbert, y ambos objetos están en correspondencia", nos encontramos con un compromiso ontológico con los elementos de Σ . Gracias a la notación empleada la identificación de la ontología se vuelve trivial.

Después de aplicar el Criterio a cada uno de los 32 axiomas obtenemos:

$$\varphi = \Sigma \cup \overline{\Sigma}$$

Así la mecánica Cuántica No-Relativista sólo presupone la existencia de microsistemas y de sus entornos físicos. No hay presuposición alguna respecto a observadores o sujetos cognoscentes, mientras que los aparatos de medida quedan para la teoría cuántica de la medición.

Esto no significa que sea formalmente imposible una formulación axiomática subjetivista de la teoría, pero hasta el momento las formulaciones propuestas sufren de contradicciones estructurales y semánticas que hacen pensar en la inviabilidad del camino subjetivista[18,19].

la formulación aquí presentada todos los teoremas pueden deducirse presuponiendo solamente una ontología mínima de objetos espaciotemporales. Esta ontología coincide formalmente con la clase de referencia factual[20] de la teoría:

$$R_F(T) = \bigcup_{i=1}^{32} R_F(A_i) = \Sigma \cup \overline{\Sigma}$$

Esta coincidencia, lejos de ser accidental, es una constante en toda teoría: ambos conceptos son equivalentes.

APENDICE I: AXIOMATICA

La base axiomática de la Mecánica Cuántica No-Relativista es:

$$\mathcal{B}_A = /\backslash_{i=1}^{32}(A_i)$$

donde:

A_1. ($\exists$x) (x es un espacio euclídeo tridimensional $E^3 \cdot x \hat{=}$ espacio físico)

A_2.($\exists$x) (x es un intervalo T de la recta real $\cdot x \hat{=}$intervalo de tiempo)

A_3.$(X1)_T(X2)_T$ (x1≤x2 : x1 es "anterior a" o "simultáneo con" x2 .v. x1≥x2 : x1 es "posterior a" o "simultáneo con" x2)

A_4.($\exists$x1) ($\exists$x2) (x1 es un conjunto numerable no vacío Σ · x2 es un conjunto numerable no vacío $\overline{\Sigma}$)

A_5.$(y)_\Sigma$ (y es un microsistema denotado por σ).

A_6.σ_o denota la ausencia de microsistema.

A_7.$(y)_{\overline{\Sigma}}$(es un entorno físico de un microsistema)

A_8.$\overline{\sigma}_o$ denota el entorno vacío.

A_9.$(x1)_{\Sigma\times\overline{\Sigma}}(\exists x2)$ (x2 es un espacio de Hilbert equipado $\mathcal{H}e \hat{=} \langle S,\mathcal{H},S^*\rangle$).

A_{10}.$(y)_\Sigma$ ($\exists$x) (x es un rayo $\Psi \subset \mathcal{H} \cdot x\, \mathcal{H} \cdot x$ está en correspondencia con el estado físico de y).

A_{11}.($\exists$x) (x es una familia no vacía de funciones P sobre Σ).

A_{12}.($\exists$x) (x es un anillo de operadores A sobre $\mathcal{H}_e$).

A_{13}.$(x_1)_p(x_2)_\Sigma$ (x_1 es una propiedad de x_2).

A_{14}.$(x_1)_p(x_2)_T(\exists x_3)_A(x_3 \hat{=} x_1)$.

A_{15}.$(x)_A$ (x es un operador lineal sobre $\mathcal{H}_e \cdot x$ es un operador hermítico sobre $\mathcal{H}_e$).

A_{16}.$(y_1)_\Sigma(y_2)_{\overline{\Sigma}}(x_1)_A(x_2)_P(x_3)_{\mathcal{H}}(x_4)_\Psi$ (y_2 es el entorno de $y_1 \cdot x_2$ es una propiedad de $y_1 \cdot x_1 \hat{=} x_2 \cdot x_3$ es un autovector de $x_1 \cdot x_4$ es un elemento del rayo Ψ que corresponde a y_1 cuando es influenciado por y_2.$\supset$. el módulo cuadrado del producto escalar de $x_3 \cdot x_4$ es la probabilidad de que x_2 tome un valor sobre y_1 igual al autovalor de x_1).

A_{17}. $(y_1)_\Sigma(y_2)_{\overline{\Sigma}}$ (el rayo Ψ correspondiente al estado de y_1 es el rayo nulo sobre el borde de la región accesible al sistema compuesto $y_1 + y_2$).

A_{18}. $(y)_\Sigma(x_1)_A(x_2)_P(x_3)_R$ ($x_1 \hat{=} x_2 \cdot x_3$ es el autovalor de x_1 correspondiente al estado de y.$\supset$. x_3 es el único valor que x_2 toma sobre y).

A_{19}. ($\exists$x) (x es un número real positivo $h[x]=L^2MT^{-1}$).

A_{20}. $(y_1)_\Sigma(y_2)_{\overline{\Sigma}}(x_1)_A(x_2)_P(x_3)$ (y_2 es el entorno de $y_1 \cdot x_2$ es una propiedad de $y_1 \cdot x_1 \hat{=} x_2 \cdot x_3$ es un operador unitario $\hat{U} \cdot \supset \cdot\ x_1' = \hat{U} x_1 \hat{U}^{-1} \hat{=} x_2$).

A_{21}. $(y_1)_\Sigma(y_2)_{\overline{\Sigma}}$ ($\exists$x2) (y2 es el entorno vacío de y1 $\supset$. x2 es una representación unitaria $D(\tilde{G})$ de alguna extensión central no trivial del grupo de cubrimiento universal $\overline{G}$ de un grupo de Lie G por un grupo abeliano unidimensional sobre $\mathcal{H} \cdot$ G es el grupo de Galileo)

A_{22}. $(x1)_A(x2)_A(x3)_A(x4)_A(x5)_A(x6)_A(x7)_A(x8)_A(x9)_A(x10)_A(x11)_A$ ($/\backslash_{i=1}^{10}\, xi$ es generador del álgebra de Lie $\tilde{g}$ de $\tilde{G}$ ·x1 es generador de traslaciones temporales $\hat{H} \cdot /\backslash_{j=2}^{4}$ xj es generador de traslaciones espaciales $\hat{P}_i$ sobre el eje coordenado cartesiano $x_i \cdot /\backslash_{j=5}^{7}$ xjes generador de transformaciones puras de Galileo $\hat{K}_i$ sobre el eje $x_i \cdot /\backslash_{j=8}^{10}$ xj es generador de rotaciones espaciales $\hat{J}_i$ alrededor del eje x_i · x11 es el elemento generador $\hat{M}$ del álgebra de Lie del subgrupo de un parámetro por el cual se realiza la extensión

$$\supset [\hat{J}_i,\hat{J}_j] = ih\varepsilon_{ijk}\hat{J}_k \cdot [\hat{J}_i,\hat{K}_j] ih\varepsilon_{ijk}\hat{K}_k \cdot [\hat{J}_i,\hat{P}_j] = = ih\varepsilon_{ijk}\hat{P}_k \cdot [\hat{K}_i,\hat{H}] = ih\hat{P}_i \cdot [\hat{K}_i,\hat{P}_j] = ih\delta_{ij}\hat{M} \cdot [\hat{J}_i,\hat{H}] = [\hat{K}_i,\hat{K}_j] = [\hat{P}_i,\hat{P}_j] = [\hat{P}_i,\hat{H}] = [\hat{J}_i,\hat{M}] = = [\hat{K}_i,\hat{M}] = [\hat{P}_i,\hat{M}] = [\hat{H},\hat{M}] = 0)$$

A_{23}. $(y1)_\Sigma(y2)_{\overline{\Sigma}}$ (el autovalor de $\hat{H}$ representa la energía de y1 cuando es influido por y2)

A_{24}. $(y1)_\Sigma(y2)_{\overline{\Sigma}}$ $(/\backslash_{i=1}^{3}$ el autovalor de $\hat{P}_i$ representa la i-ésima componente del momento angular de y1 cuando es influido por y2)

A_{25}. $(y1)_\Sigma(y2)_{\overline{\Sigma}}$ $(/\backslash_{i=1}^{3}$ el autovalor de $\hat{J}_i$ representa la i-ésima componente del momento angular de y1 cuando es influido por y2)

A_{26}. $(x)_A(x \equiv \hat{M} \supset \hat{M}$ tiene un espectro discreto de autovalores reales positivos)

A_{27}. $(y)_\Sigma$ (el autovalor de $\hat{M}$ representa la masa μ de y)

A_{28}. $(y)_\Sigma$ $(/\backslash_{i=1}^{3}$ los autovalores de $\hat{K}_i$ / μ representan la i-ésima componente de la posición y) ,

A_{29}. $(y)_\Sigma(\exists x)_A(x \neq \hat{I} \cdot (x1)_A([x,x1]=0) \cdot$ x es generador $\hat{Q}$ de transformaciones de Gauge de primera especie · x tiene un espectro discreto no generado de autovalores reales)

A_{30}.$(y)_\Sigma$ (el autovalor de $\hat{Q}$ representa la carga de y)

A_{31}. (x) (x es el estado vacío $\supset$. x es único · x es normalizable · x es invariante bajo $D(\tilde{G})$ · x es invariante bajo transformaciones de Gauge de primera especie)

A_{32}. $(y)_\Sigma$ (el autovalor de $\hat{M}$ es $\mu \neq 0$ · el autovalor de $\hat{Q}$ es $e \cdot \langle A_0, A\rangle$ es el cuadripotencial electromagnético sobre y $.\supset$

$$\hat{H} = \frac{1}{2\mu}(\hat{P} - \frac{e}{c}A)^2 + \frac{e}{c}A_0 - g_i \frac{he}{mc} B.\vec{\sigma}$$

donde g_i es el factor giromagnético del sistema y $\vec{\sigma} = <\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3>$ son las matrices de Pauli)

Cuando no se lo indica explícitamente los subíndices *i,j,k* toman los valores 1,2,3.

APÉNDICE II: NOTACIÓN Y TERMINOLOGÍA

En este trabajo se utiliza notación lógica standard. El metalenguaje en el que se formula la base axiomática es el castellano ordinario. Algunas traducciones útiles pueden verse en el cuadro adjunto. Para la notación de puntos y paréntesis consultar Quine[21].

Debe tenerse en cuenta que todo símbolo significante en un lenguaje dado tiene una relación de designación con un constructo. El constructo tiene a su vez asociado un significado que consta de sentido y referencia. La caracterización del significado puede formalizarse rigurosamente al tratar con teorías o lenguajes axiomatizados. Para detalles de teoría formal de la referencia, la representación, la interpretación, la verdad factual y el significado consultar los tratados de Bunge[6,20]. Para teoría de la verdad en ámbitos no-factuales consultar Tarski[22].

Un símbolo que no designa se llama sincategoremático.

CUADRO

	Símbolo	Traducción
I.Cálculo proposicional		
* Negación	"- ..."	"no ..."
* Disjunción	"...v... "	" ...o... "
* Conjunción	"...·... "	" ...y... "
* Condicional	"...⊃... "	" si...entonces... "
* Bicondicional	"...≡... "	" ... si y solo si ..."
II.Cálculo funcional		
* Universalidad	" (x) (...x...)"	"para todo x, ...x..."
* Existencia	" (∃x) (...x...)"	" existe x tal que ...x..."
* Identidad	" x ≡ y "	" x es idéntico a y"

REFERENCIAS

1 Quine, W.V.O.: J. Phil., 40, 113, 1943.
2 Russell, B.: Mind, 14, 479, 1905.
3 Quine, W.V.O.: Rev. Metaphys., 2, 21, 1948.
4 Quine, W.V.O.: "*Existence and Quantification*" en Ontological Relativity and Other Essays, Columbia University Press, New York, 1969.
5 Quine, W.V.O.: "*Logic and the Reification of the Universals*" en From a Logical Point of

View, Harvard University Press, Cambridge, 1953.
6 Bunge, M: Interpretation and Truth, D. Reidel Publ. Co., Dordrecht and Boston, 1974.
7 Church, A.: J. Phil., 55, 1008, 1958.
8 Goodman, N. y Quine, W.V.O.: J. Symb. Logic, 12, 105, 1947.
9 Goodman, N. *The Structure of Appearance*, Harvard University Press, Cambridge, 1951.
10 Bunge, M: *The Forniture of the World*, D. Rei del Publ. Co., Dordrech and Boston, 1977.
11 Carnap, R.: *Meaning and Necessity*, The University of Chicago Press, Enlarged Edition, Chicago, 1956, pp.205-221.
12 Feigl, H: Phil. Sci., 17, 35, 1950.
13 Quine, W.V.O.: J. Phil., 65, 185, 1968.
14 Misner, Thorne, K.S., Wheeler, J.A.: *Gravita tion*, San Francisco, W.H. Freedman, 1973.
15 Weinberg, S.: Gravitation and Cosmology, Wi ley, New York, 1972.
16 Dalla Chiara, M.L, Toraldo di Francia, G.: Análisis Filosófico 2, 35, 1982.
17 Pérez Bergliaffa, S.E., Romero, G.E. y Vucetich, H.: "Axiomatic Foundations of Nonrelativistic Quantum Mechanics: A Realistic Approach", 1992, solicitada su publicación.
18 Bunge, M: *Foundations of Physics*, Springer-Verlag, New York, 1967.
19 Ballantine, L.E.: "*What is the Point of the Quantum Theory of Measurment?*" en Roth, L.M. and Inomata, A. Editors, Fundamental Questions In Quantum Mechanics, Gordon and Breach Science Publishers, New York, 1984.
20 Bunge, M: *Sense and reference*, D. Reidel Publ. Co. Dordrecht and Boston, 1974.
21 Quine, W.V.O.: *Mathematical Logic*, Harvard University Press, Cambridge, 1951.
22 Tarski, A.: *Logic. Semantic, Metamathemati cs*, Clarendon Press, Oxford, 1956.