

HACIA EL DESARROLLO DE UNA DIDÁCTICA CONSTRUCTIVISTA COHERENTE CON EL DESARROLLO HISTÓRICO DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO EN FÍSICA. CASO: RELATIVIDAD ESPECIAL.

TOWARDS THE DEVELOPMENT OF A CONSTRUCTIVIST DIDACTICS COHERENT WITH HISTORICAL EVOLUTION OF PHYSICS. CASE: SPECIAL RELATIVITY.

Antonio Avellán V.

Universidad José Antonio Páez. Valencia, Venezuela

aavellan@ujap.edu.ve

RESUMEN:

Los supuestos, e interpretaciones de las observaciones experimentales, que dieron origen a la Mecánica clásica, y Teoría Electromagnética, posteriormente transformados o eliminados, contribuyeron en forma significativa en el desarrollo de la mecánica cuántica y teorías de la relatividad. Los supuestos clásicos constituyen prejuicios profundamente enraizados, realimentados por una visión realista y sensualista del mundo. Llegamos a la conclusión, que la intuición, el sentido común, e incluso el idealismo absoluto han constituido y siguen constituyendo barreras difíciles de superar, para el logro de una mejor comprensión del universo. Tres décadas como Docente en Física y asignaturas afines, nos permite asegurar, que, sin un estudio crítico de ciertos experimentos históricos, y un reajuste apropiado de los prejuicios existentes, y sólidamente arraigados en nuestros alumnos, asignaturas como mecánica cuántica y teoría de la relatividad, difícilmente podrán ser comprendidas a profundidad, por un alumno de inteligencia promedio. Proponemos una didáctica constructivista donde el desarrollo de una nueva intuición y el conocimiento del proceso histórico de la evolución de las ideas relevantes, ocupe un lugar especial, la “matematización” de la asignatura, será un proceso posterior. El hecho experimental no solo se muestra para ilustrar o justificar la teoría, se usa como guía para construir el formalismo, buscando cada vez un mejor ajuste entre las predicciones del formalismo y los resultados experimentales, siendo así el alumno siente que está construyendo la teoría y a su vez va adquiriendo en forma natural la intuición física pertinente. El proceso operativo sugerido en la presente investigación, para la puesta en práctica del modelo didáctico aquí propuesto, se puede inferir reflexionando sobre cada uno de los eventos indicados en la siguiente secuencia: observaciones - formulación de hipótesis - descubrimiento de un sistema axiomático formal – predicción y falsación correctivos – observaciones. Para la didáctica de la Relatividad Especial, recomendamos como punto de partida los experimentos de Galileo, de Michelson, la velocidad límite de Bertozzi, y los experimentos mentales de Einstein.

Palabras claves: Evolución de las ideas, reconstrucción de la intuición física, experimentos mentales, hacia una nueva didáctica.

ABSTRACT:

Assumptions and interpretations of experimental observations that originate Classical Mechanics and Electromagnetic Theory, which where later transformed or eliminated, made a significant contribution to the development of Quantum Mechanics and the

Relativistic theories. The classical assumptions constitute deeply rooted prejudices; in addition, they receive a feedback from a realistic and sensualistic world's vision. We have reached the conclusion that intuition, common sense, and even the absolute idealism are and continuing being difficult barriers to overcome in order to have a better comprehension of the universe. Three decades teaching physics and similar subjects allow us to affirm that without a critical study of some historical experiments and an appropriate adjustment of the existing prejudices, deeply rooted in our university's students, subjects as Quantum Mechanics and Theory of Relativity; will be very difficult to understand, deeply, for an medium intelligent student. We propose constructivist didacticism where the development of a new intuition and the knowledge of the historical process of the relevant ideas have a special place; the mathematical thinking will come later. The experimental fact is not only shown to illustrate or justify the theory, it is used as a guide to build the formalism, looking for a better fit between the predictions of the formalism and the experimental results, in that way, the student feel that he is building the theory and at the same time is acquiring, in a natural way, the pertinent physical intuition. The suggested operative process in the present investigation, in order to implement the proposed didactical model, can be inferred thinking about each of the events of the following list: observations - hypothesis' formulation discovery of an axiomatic formal system - prediction and hypothesis' testing - observations. For the didactic teaching of Special Relativity, we recommend as a starting point the experiments of Galileo, the Bertozzi speed limit and the mental experiments of Einstein.

Keywords: Evolution of ideas, reconstruction of the physical intuition, mental experiments, toward a new didacticism.

INTRODUCCIÓN.

Cuando se dice que la Filosofía sin la ciencia es estéril, y que la ciencia sin la Filosofía es ciega, estamos plenamente de acuerdo. En el estudio de la cosmología convergen necesariamente ambas ramas del conocimiento. Kart Raimundo Popper (1902/92/Praga), dice "Las observaciones de los parámetros cosmológicos hechas por los astrónomos son víctimas de un efecto de selección: nuestra propia existencia". Con lo anterior en cierta forma Popper define la razón suficiente del "Principio Antrópico" (Hawking, Penrose, 2000). Nuestra propia existencia forma en nosotros un criterio selectivo, y una buena razón para imaginar universos físicamente posibles. Esto último se puede comprobar si analizamos la evolución de la "realidad" según la Física desde Aristóteles (384 a.c./62/Estagira) hasta el presente, tarea que no resulta imposible si solo nos referimos a los grandes creativos de tan importante ciencia, y seguimos el camino más directo comenzando con Aristóteles, hasta llegar a Einstein, pasando por Galileo, Newton y Schrödinger.

Es importante señalar, que el desarrollo, análisis y discusión, de los eventos e ideologías, involucrados en el proceso histórico que a continuación se presenta, no corresponde a un aspecto colateral, y complementario de la didáctica propuesta en el presente trabajo, todo lo contrario, constituye parte relevante de la misma. Con el objetivo de facilitar el proceso hermenéutico en el sentido de Gadamer, señalamos, fecha de nacimiento, tiempo de vida en años, y lugar de nacimiento:

Aristóteles (384 a.c./62/Estagira). Interpreta la realidad del mundo apoyado en sus percepciones, lógica y excepcional intuición (Warner, 1966). En los tiempos antiguos se tenía la idea de que la materia celestial era distinta a la materia terrenal. El sol, la luna y los planetas flotaban sobre esferas celestiales alrededor de la tierra. Adicionalmente la Física Aristotélica solo entendía el movimiento de los cuerpos cuando sobre éstos actuaba algún tipo de fuerza (Schödinger, 1996). La cosmología aristotélica es reflejo inequívoco del principio Antrópico.

Al no encontrarse un ajuste adecuado entre las observaciones experimentales de los astrónomos y el modelo de universo aristotélico. Claudio Ptolomeo (100 d.c./70/Egipto) haciendo gala de una inteligencia matemática excepcional, elimina las contradicciones más relevantes, agregando epicíclous a los círculos descritos por los cuerpos celestes, asignándole a su vez movimientos muy rebuscados en busca del ajuste con los datos experimentales, mantenimiento al igual que Aristóteles el modelo geocéntrico. Por razones no propiamente científicas el modelo de Ptolomeo, sobrevive por aproximadamente 1390 años, hasta que Nicolás Copérnico (1473/55/Dinamarca), en el año 1513 propone su modelo heliocéntrico con orbitas circulares, usando una matemática más sencilla que la de Ptolomeo, y mejor ajuste con los datos experimentales. Con Copérnico se cierra la edad media y comienza los tiempos modernos (Bohm, 1998).

Johannes Kepler (1571/59/Alemania), usando magistralmente los datos experimentales del acucioso astrónomo Tycho Brahe (1546/55/Dinamarca), el cual realizó observaciones precisas sobre el movimiento de Marte, y otros planetas, acepta el modelo heliocéntrico, y para el año 1609, luego de la muerte de Brahe, enuncia sus dos primeras leyes; para el año 1618, enuncia su tercera ley. De acuerdo con dichas leyes, los planetas describen alrededor del sol órbitas elípticas, estando el sol en uno de sus focos. Newton en el año 1679 verifica matemáticamente la validez de las leyes de Kepler (Curshing, 1998)

Con la invención del telescopio, atribuida a Galileo Galilei (1564/78/Pisa) la astronomía perfecciona sus mediciones. Por otra parte, Galileo da un impulso vigoroso al método experimental, y entre otros hallazgos importantes para el desarrollo de la mecánica clásica, formula e ilustra experimentalmente, el principio de inercia de los cuerpos materiales. Galileo Galilei pone en práctica los cuatro pasos fundamentales del método experimental señalados por Francis Bacon (1561/65/Inglaterra) a saber: observación, hipótesis, predicción y confirmación, incorporando al método inductivo, el razonamiento analítico, (Curshing, 1998).

Isaac Newton (1642/85/Inglaterra), en el año 1679 verifica la compatibilidad entre sus tres leyes fundamentales, la ley de espacio y tiempo absoluto, así como la covarianza de las leyes físicas ante las transformaciones galileanas entre sistemas inerciales. La mecánica newtoniana, requiere por razones de consistencia interna, de un sistema de referencia absoluto, el cual se atribuye a una sustancia, que está en todas partes, con propiedades similares a la sustancia celestial aristotélica, llamada éter. Newton, gigante intelectual, comparable con Einstein y Galilei, opina de sí lo siguiente: “No sé cómo puedo

ser visto por el mundo, pero en mi opinión, me he comportado como un niño que juega al borde del mar, y que se divierte buscando una piedra más pulida y una concha más bonita de lo normal mientras que en el gran océano de la vida se expone ante mí completamente desconocido” (Bell, 1965).

Con las ideas de Newton se desarrolla la Termodinámica, con un cuerpo de leyes bien establecidas, así como también gracias a pioneros como Ludwig Boltzmann (1844/62/Austria), se desarrolla la mecánica estadística clásica, con la cual se hacen los primeros intentos, usando la función de distribución de Maxwell – Boltzmann, para estudiar el espectro de la radiación electromagnética de un cuerpo negro, mediante la distribución espectral de Rayleigh – Jean, encontrándose un total desacuerdo con los datos experimentales. Max Planck (1858/89/Alemania), en el año 1900 postula que los osciladores cargados de electricidad en las paredes internas del cuerpo negro, irradian energía en forma discontinua, en múltiplos enteros de un quantum de energía cuyo valor viene dado por el producto de la constante de Plank y la frecuencia asociada a la onda electromagnética producida con la oscilación. Con ello se obtiene una energía promedio que reproduce con razonable exactitud los resultados experimentales (Leighton, 1959).

Max Planck recibe el Premio Nobel de Física en el año 1918, y es considerado uno de los precursores de la mecánica cuántica, junto con Louis de Broglie (1892/95/Francia), que basándose en los trabajos de Planck y Einstein (efecto fotoeléctrico), en el año 1923 postula un paquete piloto onda/partícula, objeto antológicamente incomprensible para la mentalidad clásica del momento (Leighton, 1959).

Entre los pioneros de la mecánica cuántica, también tenemos a Niels Bohr (1885/77/Dinamarca) quien modifica la dinámica del átomo de Rutherford (1911). En el año 1913, explica correctamente el espectro de radiación del átomo de hidrógeno. Bohr representó para Alberto Einstein un rival insuperable ante las ingeniosas objeciones de Einstein en contra de la mecánica cuántica. En una oportunidad le demostró a Einstein que en el experimento ideal que estaba proponiendo para justificar un contraejemplo del Principio de Incertidumbre (esencial para la mecánica cuántica), Einstein y sus colaboradores estaban omitiendo el efecto del campo gravitatorio, sobre los instrumentos a la medida, asunto que el mismo creador de la teoría gravitatoria no se había dado cuenta (Torre, 1994).

Edwin Schrödinger (1887/74/Austria) publica su ecuación de onda en el año 1926, y Paul Adrien Maurice Dirac (1902/82/Inglaterra) formula una ecuación que, involucrando el spin del electrón, satisface las exigencias relativistas, ambos comparten el Premio Nobel de Física en 1933. En el año 1932 Carl David Anderson (1905/85/Estados Unidos) en una cámara de Wilson observa un positrón, antipartícula del electrón predicha por la teoría de Dirac (Leighton, 1959). Dirac, es considerado uno de los pioneros más importantes de la Teoría Cuántica de Campos. Entre los siglos XVIII y XIX, la Física newtoniana se encuentra en su mejor momento, el matemático Pierre Simón Laplace (1749/78/Francia), con cierta arrogancia dice “si hoy me dan la posición, la velocidad y las fuerzas que están actuando sobre las partículas del universo mañana les podré decir el estado del universo dentro de un mes”, palabras más, palabras menos, reflejo de un determinismo extremo,

consecuencia de la credibilidad en la realidad aportada por la mecánica clásica del momento (Bell, 1965).

Laplace ignoraba lo que estaba muy pronto por venir, se estaba gestando un acoso mortal sobre el significado de los observables fundamentales de la Mecánica Clásica, entre éstos: masa, tiempo, energía, distancia, simultaneidad, incluso sobre conceptos tan relevantes como causalidad, determinismo, y localidad.

Ya hemos mencionado algunos experimentos, con los cuales podemos deducir sus consecuencias sobre los observables involucrados en su concepción clásica. Paralelamente ocurrirá lo mismo con el desarrollo definitivo de la teoría electromagnética debido a los trabajos de Charles Auguste Coulomb (1736/70/Francia), que, usando una balanza de torsión, determinó la hoy llamada Ley de Coulomb. Hans Christian Oersted (1777/74/Dinamarca), en 1820 descubre que la corriente eléctrica produce efectos magnéticos sobre un imán. André Marie Ampère (1775/61/Francia) inspirado por las observaciones de Oersted de 1820, desarrolla un modelo matemático para calcular el campo magnético producido por una corriente (Ley de Ampere) Michael Faraday (1791/76/Inglaterra), quien, metido en un laboratorio, descubre en el año 1831 la inducción electromagnética, convirtiéndose, para disfrute de los pragmáticos, en el gran precursor de los dínamos, generadores y motores eléctricos.

No es justo decir que James Clerk Maxwell (1831/48/Inglaterra) encontró la mesa completamente servida, supo introducir la expresión matemática de la corriente de desplazamiento, e interpretar simbólicamente los hallazgos ya mencionados, para plasmarlos en un sistema de cuatro ecuaciones, que unidas a la fuerza de Lorentz, adquieren un enorme potencial predictivo, entre otras cosas, la ecuación de onda electromagnética, capaz de desplazarse en el vacío con una velocidad $c=3000.00 \text{ km/s}$, (Einstein, Lorentz, Minkowsky; 1952).

Es de suma importancia dentro del contexto de la presente publicación, señalar que las leyes de Maxwell no son invariantes entre las transformaciones galileanas, en contraste con las leyes de Newton que, si lo son, y que en el año 1873 Maxwell publica su obra monumental “Tratado de Electricidad y Magnetismo”. Desarrolladas las transformaciones de Lorentz, resulta que las ecuaciones de Maxwell, si son invariante ante éstas, generándose así, una controversia entre los más destacados científicos de la época.

Con el recuento histórico hasta ahora reportado, podemos afirmar que los principios, leyes, y conceptos básicos de la Física clásica comienzan a resquebrajarse, ante la fuerza indiscutible de las observaciones experimentales. El inicio del siglo XX parece augurar, para los científicos del siglo XIX, cambios paradigmáticos profundamente revolucionarios, no obstante tanto el micromundo, como el macromundo, el mundo atómico y subatómico, el mundo de las galaxias, y grandes masas, de las altas velocidades y distancias, parecen atentar contra el sentido común, contra la lógica observacional, contra la intuición clásica, contra el determinismo, la independencia de las partes cuando se suponen que están suficientemente alejadas unas de las otras, a

finales del siglo XIX, buena parte de los científicos comienzan a aceptar, que han vivido bajo el engaño de las apariencias.

Algunos aceptan la nueva realidad que avizoran, otros se disponen a luchar por sostener sus ideas, sus conceptos, en fin, sus prejuicios. Tal vez uno de éstos, fue el brillante físico Hendrix Lorentz (1853/75/Holanda), el último gran representante de la Física Clásica, premio Nobel de Física en 1902. Michelson(1852/82/Alemania) y Morley en el año 1887, mediante un experimento histórico por sus repercusiones y consecuencias, demuestran usando el interferómetro de Michelson, que el movimiento de la tierra respecto de un sistema de referencia absoluto como el supuesto éter, no puede probarse ni aún mediante un experimento que por su sensibilidad y exactitud, puede ser calificado de incuestionable confiabilidad, definitivamente queda comprobado que las ondas electromagnéticas no requieren del supuesto éter para desplazarse en el espacio vacío con velocidad c en forma independiente de la dirección y velocidad del emisor (Born,1965).

Para el año 1905, Alberto Einstein (1879/76/Alemania) basándose en las siguientes hipótesis: “Las leyes de la física son iguales en todos los sistemas inerciales, no existe ningún sistema inercial preferido”, y “La velocidad de la luz en el espacio libre tiene el mismo valor c en todos los sistemas inerciales”, deduce un grupo de transformaciones, con las cuales se puede demostrar entre muchas otras cosas, la relatividad de la masa, tiempo, espacio, y simultaneidad (Einstein,2006). Debido a los ingeniosos esfuerzos de Lorentz para justificar la presencia del éter, las antes mencionadas transformaciones se les llama transformaciones de Lorentz, así nace la *Teoría Especial de la Relatividad (T.E.R)*. Alberto Einstein, no se siente satisfecho con el enorme éxito predictivo de la T.E.R, en particular dos hechos le incomodan: el privilegio de los sistemas de referencia inerciales, y la no inclusión de la Ley de Gravitación

Universal en la TER, con la sombra de una interacción a distancia (Einstein,2002). Posiblemente informado, de los experimentos de Galilei, que dejando caer cuerpos con masas diferentes, verifica una y otra vez, que los mismos experimentaban la misma aceleración, y caían en el mismo tiempo al ser soltados desde la misma altura simultáneamente. Este, y posiblemente otros experimentos, le permite postular la igualdad entre la masa inercial y la masa gravitacional, con lo cual la gravedad y un sistema de referencia acelerado son equivalentes localmente, es decir, podemos reemplazar el campo gravitatorio por una caja acelerada suficientemente pequeña. Einstein diseña así, un laboratorio imaginario, donde usa lo que él llamaba la más poderosa herramienta del pensamiento humano: la imaginación.

Con su caja, imagina situaciones donde comprueba que los relojes marchan con más lentitud cuando se mueven en campos gravitacionales más intensos, que los campos gravitacionales, al cambiar los intervalos de tiempo, alteran la geometría del espacio / tiempo, intuye que el espacio/tiempo deja de ser plano y se convierte en un espacio no euclidiano, requiere desesperadamente de una nueva geometría. Quizás fue esta situación, la que le indujo a decir: “Los años de búsqueda en la oscuridad de una verdad que uno siente, pero no puede expresar, el deseo intenso y la alteración de confianza y

desazón, hasta que uno encuentra el camino a la claridad y comprensión, solo son familiares a aquél que los ha experimentado”. (Priwer, Phillips; 2006).

Para la buena fortuna de Einstein, a mediados del siglo XIX, Georg Riemann (1826/40/Alemania), tuvo la idea de extender el concepto de superficie curva a un espacio con cualquier número de dimensiones, en dicho un espacio se pueden construir geodésicas, que sustituyen a las rectas del espacio ordinario. Se trata de un espacio curvo donde las geodésicas pueden cruzarse en más de un punto, las paralelas no mantienen constante la distancia entre ellas, etc. (Eisenhart,1997). Finalmente, Einstein, con la ayuda de su viejo amigo Marcel Grossmann, asumiendo el principio de equivalencia ya mencionado, y la condición de covariancia de las leyes físicas, geometriza la gravitación y deduce la más compleja de sus ecuaciones (McMahon,2006).

Las repercusiones en la cosmología actual, y en la filosofía, de la Teoría de la Gravitación, todavía no han sido explotadas en toda su extensión. El último gran sueño de Alberto Einstein, la unificación teórica de todas las fuerzas fundamentales, en una sola y bien fundada teoría, aún se está soñando (Hawking, Penrose;2006).

METODOLOGÍA.

Analizamos la secuencia de procesos que conllevan a la propuesta de la teoría cuántica, la mecánica de Newton, la Teoría Electromagnética, o las dos teorías de la relatividad, y concluimos que no se cumple exactamente la rutina de Bacon.

(Curssing,1998), más bien se repite, en espiral, la siguiente cadena de procesos: observación – hipótesis – formalización – falsación – reformulación – observación. Se estudia a profundidad, como las teorías físicas, mediante su formalización, buscan consistencia, coherencia, claridad, y capacidad para generar proposiciones sintéticas a priori (Kant,1800); toda teoría física busca de una u otra forma, que su estructura formal, se acerque en lo posible a un sistema axiomático, con todas las ventajas que ello significa (Avellán,2003). Se estudia, se analiza, y evalúan, los efectos de los prejuicios ideológicos, y de las observaciones de la vida cotidiana, sobre la creación de paradigmas en las teorías de la Física, y en el aprendizaje de la Teoría Especial de la Relatividad.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La Relatividad especial, materia que, al ser aprobada por el estudiante, se espera que éste haya adquirido habilidades, capacidades y destrezas, pertinentes a una asignatura de naturaleza fáctica con repercusiones tecnológicas de relevancia, y sea capaz de explicar fenómenos y hechos, difíciles de admitir desde el punto de vista del sentido común clásico y tradicional. El proceso de enseñanza y evaluación, para la enseñanza de esta asignatura, requiere en su estrategia metodológica tomar el hilo, del proceso evolutivo, y del desarrollo histórico de los prejuicios, conceptos, y paradigmas, que a la luz de los hechos observables, se fueron transformando a través de los siglos, hasta generar las propuestas contenidas en los postulados de Einstein publicados el año 1905

(Einstein, Lorentz, Minkosky;1952) las cuales sustentan la teoría de la relatividad especial o restringida.

No es posible una verdadera comprensión de los eventos físicos en la infinita diversidad de situaciones, sin ajustar la capacidad de observación del discente, y sin el desarrollo apropiado de la intuición hasta aceptar un nuevo “sentido común”. Sin lo anterior, las teorías físicas, están mutiladas en su propia esencia, y se presentan como un cúmulo de fórmulas, signos matemáticos y conceptos vacíos alejados del mundo que pretendemos enseñar, y representar. Sin lo anterior, no es posible realizar una efectiva y eficiente, didáctica constructivista como la presentada en este trabajo.

Recomendamos, para un curso de Relatividad Especial que tenga, entre sus prelacones, la aprobación de un curso de mecánica clásica, y de teoría electromagnética, el siguiente contenido: 1. Evolución histórica de los conceptos e ideas dominantes, previos al desarrollo formal de la teoría Especial de la Relatividad 2. Sistemas de referencia 3. Sincronización de relojes 4. Sistemas inerciales 5. Transformaciones galileanas 6. Deducción, y base empírica Postulados de la teoría Especial de la Relatividad 7. Transformaciones de Lorentz 8. Eventos e intervalos 9. Dilatación del tiempo 10. Contracción de longitudes 11. Composición de velocidades 12. El cono de luz y Diagramas espacio-tiempo 13. Cuadrivectores 14. Energía y masa relativista. Apéndice: Revisar, y reconsiderar, las nociones básicas, correspondientes a la mecánica clásica, y teoría electromagnética, útiles para una mejor y más profunda comprensión, de los conceptos, fenómenos, experimentos, y sintaxis de la Relatividad Especial, véase (Born, 1965).

Por las razones ya expuestas, consideramos necesario, la discusión del proceso histórico en los términos ya sugeridos, adicionalmente proponemos como elemento relevante de la didáctica para un aprendizaje significativo de la asignatura: un marcado predominio de la experimentación, ello de acuerdo a la siguiente la secuencia: observaciones y experimentos científicamente validados – experimentos evaluadores del desarrollo intuitivo del aprendiz – estudios comparativos entre los resultados observados y los resultados esperados por el aprendiz --- formulación de hipótesis ---- construcción de un formalismo. En primer lugar, se sugiere, las transformaciones de Galileo, en segundo lugar, las transformaciones de Lorentz – deducir predicciones verificables experimentalmente de las transformaciones de Lorentz (Prierron,1992). Los experimentos pueden ser, experimentos mentales, luego experimentos realizados con la presencia de objetos y fenómenos del ambiente natural, y por último experimentos de laboratorios.

Es importante, presentarles a los estudiantes las limitaciones de la teoría, y los posibles caminos que podrían solventar o mitigar sus limitaciones. Para concluir, recomendamos un modelo instruccional, donde se usen mapas, mentales, conceptuales, se identifiquen, y se apliquen oportunamente las herramientas para las didácticas del constructivismo (Avellán, 2002), tomando en consideración, un orden jerárquico de los contenidos a transmitir. En la figura anexa (Fig.No1), podemos encontrar la conexión entre los conceptos antes mencionados.

Modelo instruccional centrado en el aprendiz

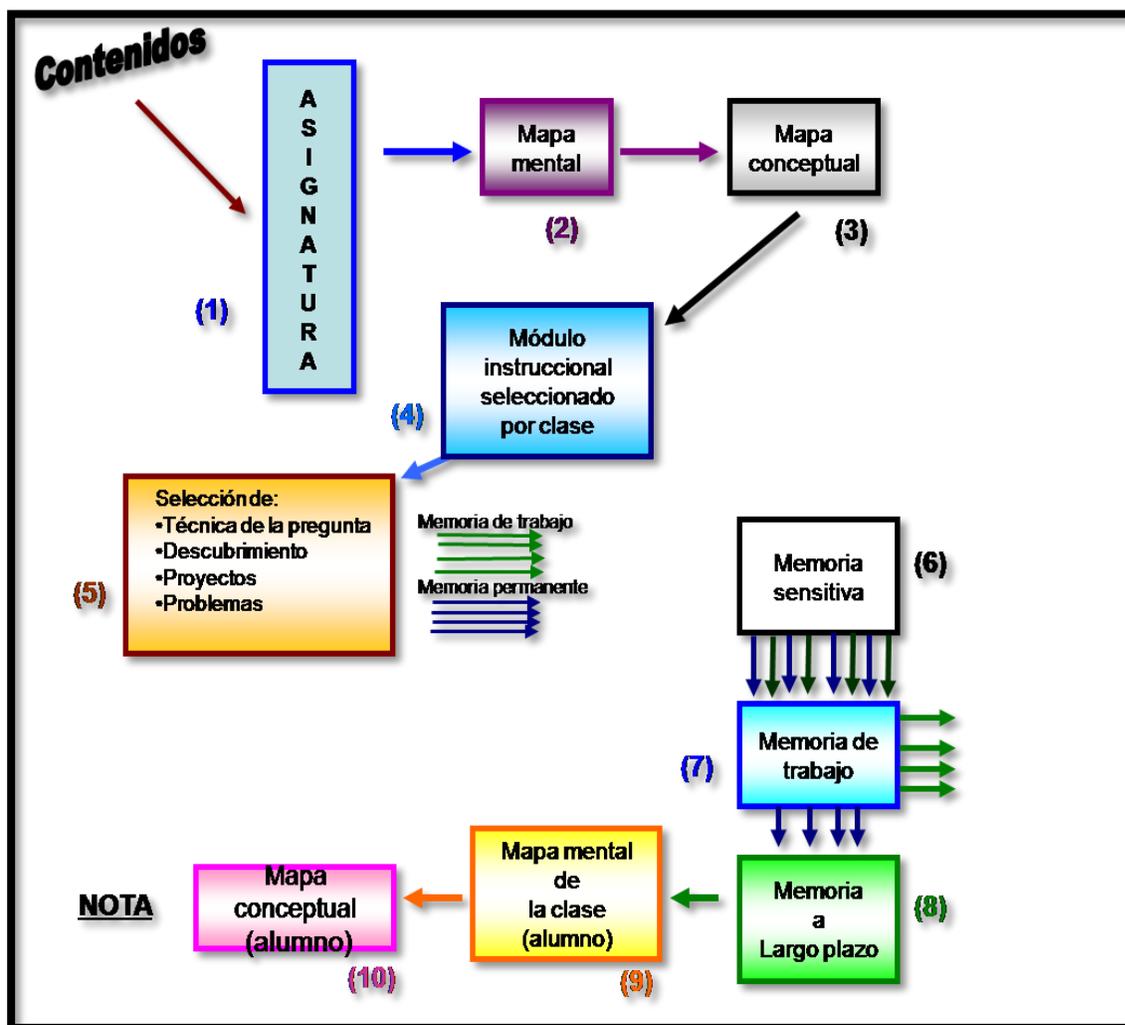


Figura N° 1

REFERENCIAS

1. Hawking S., Penrose R. (2000) The nature of Space and Time. Princeton University Press.
2. Warner, C. (1966) La Filosofía griega. Nueva colección labor.
3. Schrodinger G. (1996) Nature and the greeks and Science and humanism. Cambridge university press.
4. Bohm D. (1998) La totalidad y el orden implicado. Editorial Kairós.
5. Curshing, J. (1998) Philosophical concepts in Physics. Cambridge University Press.
6. Bell, E. (1965) Men of Mathematics. Simon and Schuster.
7. Leighton R. (1959) Principles of modern physics. International Student Edition.
8. Torre, D. (1994) Física cuántica para filósofos. Fondo de Cultura Económica.
9. Einstein, A.; Lorentz, H. A.; Weyl H. Minkowski H. (1952) The principle of relativity. Dover books on physics.
10. Born, M. (1965) Einstein theory of relativity. Dover Publications, Inc.
11. Einstein A. (2006) Relativity. A plume book.

12. Einstein, A. (2002) Sobre la teoría de la relatividad especial y general. Alianza Editorial.
13. Priwer, S.; Phillips, C. (2006) Essential Einstein. Adams Media, An F + W Publications Company.
14. Eisenhart, L. (1997) Riemannian Geometry. Princeton University press.
15. McMahon D. (2006) Relativity demystified. McGraw – Hill.
16. Kant I. (1800) Immanuel Kants Logik: Ein Handbuch zu Vorlesungen. Translated, with an introduction, by
Hartman R. and Schwarrz W. Dover Publications, Inc. New York.
17. Prierron, I. (1992) La mecanique et la relativite. Bréal Éditions.
18. Avellán A. (2003) Herramientas del pensamiento: Modelo de proceso instruccional centrado en el Aprendizaje. Publicación interna Especialización Docencia en Educación Superior. Universidad José Antonio Páez.