

Tema 19. Bases fisiológicas de la conducta: el SNC. Generalidades. Estructuras y funciones básicas. Órganos sensoriales. Umbrales y tiempos de reacción. Implicaciones en la seguridad vial. Algunas investigaciones.

Consideraciones generales.....	1
Estructura, funciones y órganos sensoriales del S.N.C.	1
Estructuras y funciones básicas del S.N.....	1
Órganos sensoriales	4
La visión	5
La audición	8
Umbrales y tiempos de reacción.....	10
Algunos resultados en investigación	11

Consideraciones generales

Probado que el pensamiento y la voluntad así como la vida afectiva está en estrecha dependencia del cortex¹ y del tálamo² los psicofisiólogos tienden a reducir el cuerpo vivo al sistema nervioso y el comportamiento a la actividad cerebral que lo realizaría por almacenamiento, análisis y síntesis de las informaciones.

Este modelo fecundo para los biólogos ha hecho que en los organismos estatales de investigación la psicología se convierta en la pariente pobre de la neurofisiología cerebral.

Admitiendo probada esta dependencia cabe –sin embargo- reclamar la especificidad de los fenómenos psíquicos y dentro de ellos y también desde una óptica también específica la aportación del psicoanálisis que se distingue profundamente de la psicofisiología y psicopsicología en el hecho de tomar en consideración la existencia de la fantasía individual consciente, preconsciente e inconsciente. Fantasía que sirve de puente y pantalla entre el psiquismo individual, el mundo y los demás psiquismos.

No obstante en este capítulo, hablaremos de los mecanismos y órganos implicados en los procesos sensoriales y receptivos más comprometidos en la tarea de conducción.

Estructura, funciones y órganos sensoriales del S.N.C.

Estructuras y funciones básicas del S.N

Suele describirse mediante un esquema trinitario, no solo en sus funciones sino incluso en su diferenciación orgánica. Así entre la funciones se mencionan: la sensitiva, la

¹ Sustancia más exterior del cerebro constituida por sustancia gris.

² Estructura profunda del cerebro conectada a las distintas zonas de la corteza.

motora y la integradora. Entre sus estructuras diferenciales Cerebro, cerebelo y bulbo raquídeo.

En la primera de las funciones mencionadas, la sensitiva intervienen desde las más superficiales a las más profundas estructuras. Así desde las terminaciones nerviosas o receptores pasa a la *médula espinal* en todos sus niveles, tras ello a las *regiones basales del encéfalo* (cerebelo) incluyendo el *bulbo y protuberancias*, y finalmente llegando a las regiones más altas del cerebro, incluyendo el *tálamo y la corteza cerebral*.

Los tres niveles filogenéticos parecen venir constituidos por;

Un eje neural a lo largo del cuerpo (es la base de la médula espinal)

Desarrollo en el extremo cefálico produjo acúmulos agrandados de neuronas que transmiten señales de control en sentido retrógrado desde el eje neural hasta todas las partes del cuerpo. Son las regiones basales del cerebro humano (bulbo raquídeo).

Finalmente un crecimiento del tejido nervioso rodeo las regiones basales del cerebro y constituye la corteza cerebral. En total todo este complejo sistema está regido por la actividad de 12.000 millones de unidades básicas llamadas *neuronas*. Esta es la encargada mediante complejos mecanismos electroquímicos de la transmisión de los impulsos a través de un espacio entre ellas, proceso denominado sinapsis, cuyas leyes marcan algunos de los mecanismos que más se tienen en cuenta en la mayoría de los estudios de investigación en materia de tráfico: la fatiga y el efecto de fármacos en la transmisión neuronal.

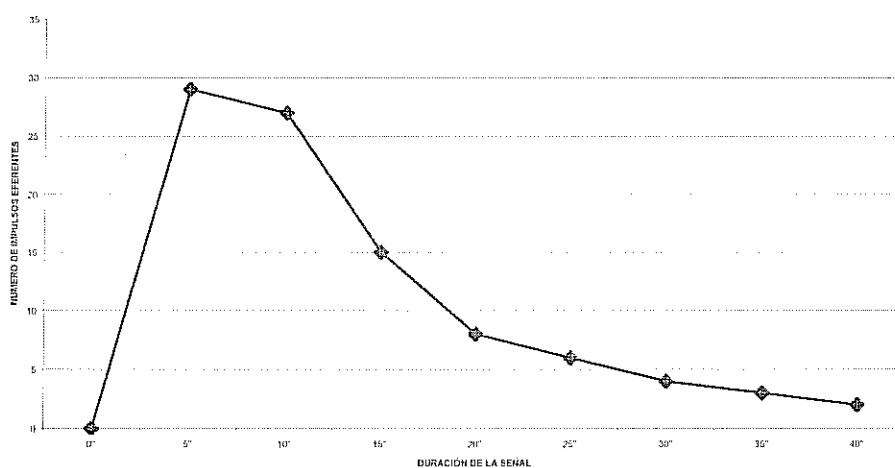
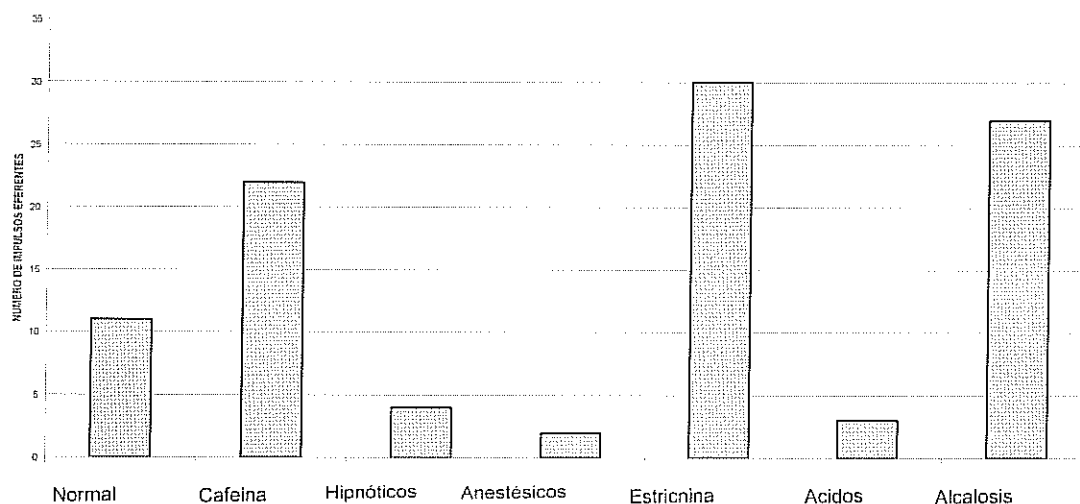


Fig. 221. Relación de la fatiga con el número de impulsos eferentes de una neurona después que comienza a ser estimulada.

Fatiga: la figura 221 muestra este efecto; al comenzar un impulso aferente, la neurona descarga con mucha rapidez, pero después lo hace con mayor lentitud, conforme aumenta el periodo de estimulación. Algunas sinapsis se fatigan muy rápidamente y otras con gran lentitud. Podría pensarse que la fatiga es un impedimento para la acción del sistema nervioso central; pero, al contrario, es indispensable. A no ser por la fatiga sináptica, un sujeto nunca podría detener un pensamiento, una actividad muscular rítmica o cualquier otra actividad repetitiva duradera del sistema nervioso central cuando hubieran comenzado.

Factores que modifican la transmisión sináptica: Hay factores capaces de modificar el número de impulsos transmitidos por una sinapsis como reacción a un grado determinado de estimulación de las terminaciones presinápticas. Los hipnóticos, anestésicos y la acidosis deprimen la transmisión de impulsos en la sinapsis, en tanto que la alcalosis y los estimulantes mentales, de la índole de cafeína, bencedrina y estriocina, facilitan mucho la transmisión sináptica. La estriocina administrada en dosis

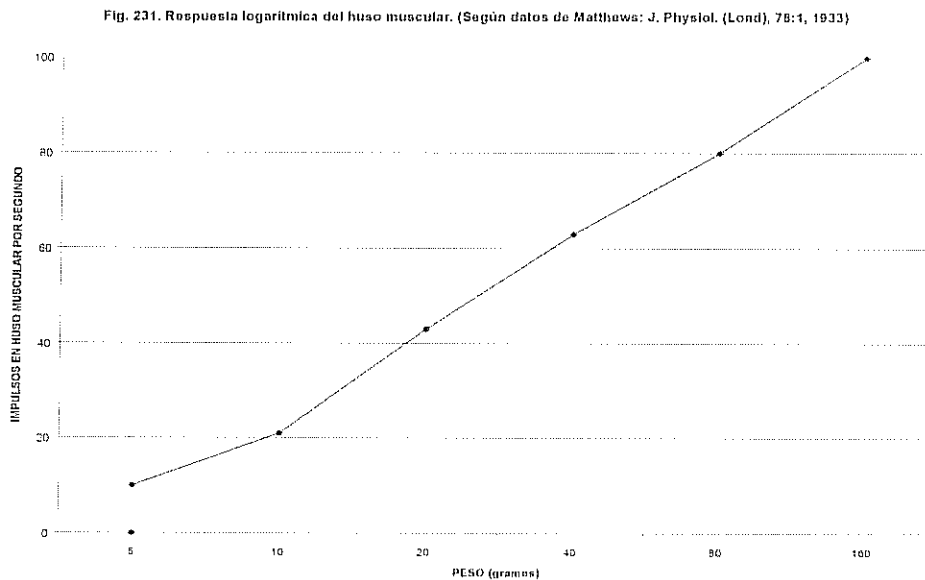


suficientes origina descargas espontáneas de las neuronas incluso sin que haya estímulo presináptico. Este es el mecanismo por el cual la estriocina mata al animal, pues produce tantos impulsos nerviosos que se transmiten por el sistema nervioso central y el motor que causa la muerte por parálisis espástica de los músculos respiratorios.

Discriminación de la intensidad

Lo que sigue sirve tanto para las sensaciones somestésicas como para la vista, el oído, el gusto y el olfato. Nos estamos refiriendo a la no correspondencia lineal entre la magnitud del estímulo y la percepción de la intensidad del estímulo o lo que es lo mismo el número de impulsos transmitidos por un nervio sensitivo, el cual es

proporcional al logaritmo de la intensidad de la sensación y no a la intensidad verdadera. Esta relación viene definida por la ley de Weber-Fechner que también se puede expresar de la siguiente manera: la discriminación de la intensidad de distintos tipos de sensaciones tiene fundamentos relativos y no absolutos. El siguiente gráfico ilustra esta relación tomando el ejemplo del peso (en gramos) y el número de impulsos en el uso muscular por segundo.



Órganos sensoriales

Tradicionalmente, los órganos sensoriales se han clasificado en:

Distales: (vista, oído)

Sentidos proximales (calor, frío, dolor, gusto, olfato)

Sentidos profundos

. Cinestésicos (movimiento)

. Vestibular (equilibrio)

. Orgánico (cambios relativos a funciones orgánicas como hambre, sed,

etc.)

Sensibilidad somestésica

Con este término se quiere significar la sensación corporal. Los fisiólogos también hablan muchas veces de subdivisiones del sistema sensorial somestésico, incluyendo sensibilidad *exteroceptiva*, sensibilidad *propioceptiva* y sensibilidad *visceral*. Aún

cuando haya mucha superposición entre estos diferentes tipos de sensaciones, se pueden distinguir:

Las sensaciones exteroceptivas que son las que normalmente se perciben por la piel, como 1) el tacto; 2) la presión; 3) el calor; 4) el frío y 5) el dolor.

Las sensaciones propioceptivas que son las que señalan al cerebro el estado físico del cuerpo incluyendo sensaciones como las de: 1) tensión de los músculos; 2) tensión de los tendones; 3) regulación de las articulaciones y 4) presión profunda desde la planta de los pies.

Las sensaciones viscerales son las que provienen de órganos internos, incluyendo las de 1) dolor; 2) plenitud, y 3) a veces, de calor. Así, pues, las sensaciones viscerales son similares a las exteroceptivas, y funcionalmente son iguales, excepto que provienen del interior del cuerpo.

Y todos estos procesos sensoriales tienen como centro regulador e integrador a un órgano de máxima complejidad a la vez que de vital importancia para el ser humano, ese órgano al cual aún hoy día se le llama “el gran desconocido”: el cerebro humano.

La visión

Uno de los sentidos más implicados en la conducción es la visión, de la que vamos a ver el primer elemento de este sistema: el ojo. Este se comporta como una máquina fotográfica (es mejor decir que esta está diseñada como aquel), siendo la retina la película fotográfica donde se impresionan las imágenes (invertidas) que son transmitidas por impulsos nerviosos al cerebro a través del nervio óptico. El cuerpo que recubre el ojo es duro y se llama esclerótica. Bajo él y yendo en profundidad está la cornea que deja pasar la luz. A unos milímetros de distancia se encuentra un cuerpo ovoide llamado cristalino y entre éste y aquella el humor acuoso. Tras el cristalino se haya el *humor vítreo* de naturaleza proteica. Bastones y conos son otras de las estructuras fundamentales que sirven como receptores de la intensidad luminosa (bastones) y de los colores (conos) siendo éstos últimos receptores altamente especializados. Los conos, receptores específicos para el color, lo son para los tres colores básicos: rojo, verde y azul. La excitación simultánea de dos de ellos permite a percepción del más amplio espectro de gamas de longitud de onda. Un dato interesante es que los genes del color que portan los conos, son heredados por el cromosoma

femenino, dando por tanto más alteraciones en la percepción del color en hombres (que sólo tienen un gen femenino) que en las mujeres (que tienen dos). Las dos deficiencias existentes son por falta de conos rojos o verdes, *ceguera al rojo o al verde* confundiendo y ni discriminando entre estos colores (dato muy importante para la seguridad y circulación vial) y por no existencia de conos *debilidad al azul*.

Siendo la visión uno de los sentidos más implicados en la conducción y mas allá de hacer una exposición de la complejísima actividad del órgano del cerebro, si creo oportuno señalar algunas de las funciones del cortex y del tálamo. Amén de llegar los impulsos visuales a la zona occipital éstos son enviados a su vez al área de asociación somestésica cuya función es integrar el “significado” de las sensaciones que llegan al cerebro. En este sitio el cerebro discierne forma de objetos, peso, textura de su superficie y posición en relación con e cuerpo. También percibe la posición exacta de cada parte del cuerpo en todo momento.

La corteza visual primaria está situada en la parte posterior del cerebro, en el lado interno de cada hemisferio. Una pequeña parte de la corteza visual primaria se extiende en el polo occipital, aunque en su mayor parte está oculta dentro del surco inter hemisférico. El área visual primaria interpreta sólo en parte el significado más básico de las sensaciones visuales, como si el objeto es una línea, un cuadro o una estrella y también interpreta el color del objeto.

De esta zona, pasan señales visuales en todas direcciones *desde la corteza visual primaria* y también del tálamo a un área adyacente llamada *zona de asociación visual*, que también se observa en la figura. En ella se interpreta el significado de los impulsos visuales. Se aprecian la forma y los colores de los distintos objetos y después se identifican. Por último, el área de asociación interpreta el significado global de la escena que se observa.

La interpretación del lenguaje escrito es una de las funciones más importantes de la zona de asociación visual. Deben discernirse de las manchas oscuras y claras de la imagen las letras mismas, después las palabras de la combinación de letras, y finalmente el sentido de los pensamientos, por la sucesión de las palabras.

Agudeza visual y visión en profundidad

Es la capacidad de discriminar dos puntos luminosos separados a un milímetro a 10 metros de distancia. Esta es por definición la agudeza máxima. Otro asunto de relativa importancia es que es en la fovea, zona especial modificada de la retina donde no

existen bastones y los conos son de menor tamaño. Aquí las fibras nerviosas y los vasos sanguíneos están desplazados a un lado, de manera que la luz pasa directamente con facilidad a las capas profundas de la retina, donde están situados los conos. Estos conos comunican con el cerebro por una vía casi directa, de manera que los impulsos procedentes de ellos no se confunden con los llegados de otros.

Respecto a la percepción de la *profundidad*, esta se realiza mediante dos procesos:

Por el *tamaño del objeto* para lo cual hay que tener una experiencia previa del tamaño del objeto, de modo que si es pequeño estará lejos y si grande más próximo.

Por *paralaje*, dado que la imagen se proyecta invertida en la fovea o zona profunda de la retina. Por ejemplo dos objetos a distintas distancias, en un ojo uno de los objetos se proyecta a la derecha del otro y en el otro ojo se proyecta a la izquierda del mismo por lo que se deducirá que uno está más próximo que el otro. Pero esta estimación de las distancias es *comparativamente* no es una estimación de la distancia real.

Energía cinética , velocidad y distancia de seguridad.

Por ser un asunto de suma importancia, y no disponiendo de órgano sensorial que lo perciba directamente, la velocidad y su percepción la situamos entre dos de los órganos sensoriales que actúan aunque parcialmente en la percepción de distancias y tiempos. A su vez, íntimamente relacionado con los tiempos de reacción del conductor (que se verá a continuación), y supuestas las condiciones óptimas de éste, hay que considerar algunas leyes de la física del movimiento de los cuerpos. La velocidad, independientemente de la percepción que tenga de ella un sujeto, no tiene una relación lineal con la energía que desplaza un cuerpo en caso de detención brusca, sino que la relación es exponencialmente cuadrática.. Así al duplicar la velocidad la energía cinética se cuadruplica. Esa energía liberada equivale –poniendo un ejemplo que puede facilitar la comprensión- que si se circula a 60km/h y se produce una detención brusca, equivale a caer desde un quinto piso. Esto en el caso de tratarse de una colisión con un objeto rígido que absorba casi ninguna energía (lo cual nunca es el caso estrictamente hablando), en otros el material absorbe transformando su estructura. Otro dato a añadir es no sólo la deformación de los cuerpos por intrusión (en este caso nos referimos a las lesiones por el golpe sufrido directamente en el cuerpo humano) sino por efecto de lo que la ciencia médica llama “cavitación”, esto es la rotura de órganos internos que están suspendidos en un medio acuoso conectado con ligamentos, venas o arterias o estructuras de una elasticidad sutil, por efecto de la brusca desaceleración.

Además si se tiene en cuenta que a esa misma velocidad (60 km./h) se recorren en un segundo 17 metros, y esto en condiciones ideales tanto de la vía como del estado de los neumáticos del vehículo y de este en general, se está planteando una de los elementos más críticos en materia de circulación.

A lo largo de los años y de los datos arrojados por las estadísticas, el exceso de velocidad se mantiene presente como el factor más concurrente en la mayoría de los accidentes de tráfico.

La audición

La audición, aunque en mucha menor medida que la visión, también está implicada en la conducción. Sin entrar a detallar su estructura también compleja diremos que la función del oído es convertir la energía sonora en impulsos nerviosos que son transmitidos a través de estructuras complejas a una zona de la corteza que interpretará su significado. La compresión y descompresión del aire es la que produce el sonido. Además éste puede transmitirse por agua o por sólido.

La estimación del *tono* de un sonido depende de la zona del caracol (estructura interna de gran complejidad) que sea estimulada. Así cuando es estimulada la zona del caracol cercana a la base del mismo, el cerebro interpreta que el sonido es de frecuencia alta (tono agudo) si lo es en la porción media del caracol, el cerebro interpreta el sonido como de altura intermedia, y de baja si son estimuladas las de la punta del caracol. La estimación de la intensidad en alta, media o baja, lo dará la intensidad del movimiento de las fibras basilares, cuanto mayor desplazamiento de vaivén, mayor intensidad del estímulo y mayor número de impulsos nerviosos.

El tono y la intensidad nos proporcionan datos cruciales en el tráfico. Nótese que cuando se aproxima un vehículo el sonido es más agudo y su intensidad se incrementa a diferencia de cuando se aleja que se hace más grave y baja de intensidad.

Entre los deterioros que se pueden producir en el sistema de audición y que suele derivarse en sordera están: la de conducción y la sordera nerviosa. Esta última es la más frecuente entre las personas de avanzada edad. Es una sordera obre todo para los sonidos de frecuencia muy alta. Probablemente ello dependa del envejecimiento del caracol, aunque cabe que ocurre cierta degeneración de las vías auditivas en el sistema nervioso central.

Otra de las funciones, también de vital importancia en la conducción es *la percepción de la velocidad*. Para ello en las áreas visuales de asociación y en el cerebelo hay mecanismos especiales que permiten a los ojos seguir objetos en movimiento. Para ello, los ojos deben moverse lentamente en la misma dirección que el objeto, sin adelantarse ni retrasarse. Si la imagen comienza a rezagarse o a adelantarse, las áreas visuales de asociación inmediatamente envían impulsos a los músculos oculares, que corrigen la posición. El cerebelo participa en ese mecanismo porque el curso de movimiento del objeto debe predecirse; la facultad de predicción de cerebelo permite mover los ojos junto con el objeto, sin esperar a que este llegue a una nueva posición para que los ojos lo alcancen. Esto es la percepción de movimiento de un objeto lejano en la línea de horizonte, pero para percibir el movimiento de aproximación se deduce por el aumento o disminución del tamaño simultaneando este proceso mediante la modificación de la curvatura del cristalino cuando cambia la distancia del objeto y mantener enfocados los ojos en el campo visual.

Pero hasta ahora lo visto, lo que el ojo y algunas áreas del oído percibe es la percepción del movimiento y hasta ahora no de velocidad. La percepción de velocidad como la de la distancia es relativa, esto es podemos establecer una comparación entre dos cuerpos en movimiento y establecer si uno se mueve a más o menos velocidad como podemos establecer la mayor o menor lejanía en función del tamaño. Espacio y tiempo se conjugan en dos planos, uno objetivo, a través de la extracción de un cociente (E/t) y otro subjetivo. Y sin entrar en la complejidad que supone la percepción subjetiva del tiempo, si lo definimos este como una sucesión de sucesos media mucho el significado que tengan estos para los sujetos para que el tiempo pase deprisa o despacio, y esta medida del tiempo es independiente del movimiento de las manillas de un reloj que por convención se establece según distintas posiciones respecto al sol, esto es respecto a la luz.

El ser humano no dispone de receptores de la velocidad, (si como se ha visto del movimiento) y quizás los únicos sean la transmisión a los órganos internos de la fuerza de aceleración o deceleración, pero estrictamente hablando carece de ellos. Así pues y en el ámbito del tráfico quizás no sea tanto el conocimiento de los efectos en caso de desaceleración brusca, sino cómo se interactúa en un medio donde el movimiento está tan amplificado respecto a otras muchas situaciones donde siempre y en cualquier sentido existe movimiento (vida).

A pesar de no disponer de estos receptores, la velocidad es una fuente de placer, entre otros factores por la sensación de ingravidez, ligereza con la que se mueven los cuerpos con sólo presionar levemente un dispositivo. Sabido esto se puede comprender la razón del auge experimentado en el consumo y venta de tecnología que cada vez en condiciones más confortables nos desplaza en un breve espacio de tiempo a lugares hasta hace sólo unos años insospechados. Se habla en esta línea por tanto de “la carrera del espacio” si bien esta dirigido a la exploración de otros ámbitos del espacio planetario.

Umbrales y tiempos de reacción

El umbral hace referencia a las limitaciones de los receptores en la posibilidad de percepción del estímulo. En los órganos sensoriales que hemos estudiado se ha visto como por encima como por debajo de una gama acústica o visual el oído o el ojo no puede captar la emisión sonora o la gama de color (tal es el caso del ultravioleta).

Para referirse al tipo de conducta más simple y casi a nivel puramente fisiológico de respuesta motora se incluyen dentro de la mayoría de los exámenes de conducción los tiempos de reacción. Pero no todas las respuestas o conductas al volante se producen a ese nivel. Algunas requieren de la participación de procesos cognitivos algo más complejos. Por ello entre unas y otras se han clasificado las reacciones en las siguientes:

- ✓ ***Reacciones reflejas o instintivas;*** aquí no se requiere reflexión alguna, por ejemplo el parpadeo ante un cuerpo extraño en el ojo. En la conducción no se requiere acciones reflejas y cuando se producen colisiones inminentes algunos sujetos han tenido reacciones histéricas poniendo el pie en el acelerador en lugar de en el freno.
- ✓ ***Reacciones simples:*** son resultado de un aprendizaje, pero son muy sencillas. Por ejemplo, frenar cuando vemos un semáforo en ámbar. Se requiere un cuarto de segundo para reaccionar y otro cuarto para poner el pie en el freno.
- ✓ ***Reacciones complejas:*** requiere por parte del conductor elegir la respuesta más adecuada. Estas son más lentas, entre 0,50 hasta 2 segundos. La mayor parte de la conducción se hace mediante reacciones complejas.

- ✓ **Reacciones discriminatorias:** es cuando el conductor se ve obligado a tomar una decisión rápida entre dos o más acciones que no son frecuentes o son raramente practicadas. Es la más lenta de todas las reacciones y puede exigir hasta un minuto si la situación es complicada.

Algunos resultados en investigación

Este modelo psicofisiológico ha sido muy productivo en el ámbito del tráfico y la seguridad vial. Entre ellos caben destacar:

Todo un campo de desarrollo en el área de la visión, dando como resultado un área específica de investigación encuadrada dentro de un área llamada “*visión en vehículos*”. En torno a ella y mediante instrumentos de tecnología avanzada y sofisticados métodos se han investigado parámetros oculares como medida indirecta de procesos mentales tales como la atención, la distracción, la estimación de la velocidad etc. El programa ARGOS desarrollado en la Dirección General de Tráfico es un ejemplo de ello.

En otras líneas de investigación son múltiples los *estudios de laboratorio* para medir el efecto que la ingesta de alcohol tiene en los tiempos de fijación ocular y otras características de ésta.

Estudios con simuladores de conducción donde mediante la selección cuidadosa en el estado de los sujetos de ensayo y experimentación se estudian diferentes procesos tales como la somnolencia o el cansancio. Tiempos de reacción, patrones conductuales, etc. es otra de las vías de investigación ampliamente desarrolladas.

La limitación que tienen estos estudios es doble:

Por un lado la interpretación de las motivaciones de la conducta es medida a través de parámetros neurofisiológicos, esto es no es el resultado de la medida directa de los procesos psíquicos que suponen la significación que a cada instante la persona hace del entorno y del estado interno subjetivo.

Otra de las limitaciones es que explica en parte una conducta y los procesos mediacionales en situaciones de examen (conducción real y/o conducción simulada), con lo cual se introduce el artefacto de examen o prueba, distando mucho esta situación de la circunstancia real que se produce cuando se produce un accidente, por lo cual las deducciones se plantean como hipótesis tentativas que explicarían el accidente, pero no –por razones obvias- pueden

establecer una relación causal entre la cognición, emoción e intelección del hecho psíquico en la producción del siniestro.

Por último decir que estos estudios han permitido mejoras altamente significativas en los vehículos de modo que en cierta medida la conducción es más segura y la tecnología se pone al servicio de la tarea de conducir.