

ACTUALIZACION POR TEMAS

El Sentido del Tiempo o el Tiempo Subjetivo*

Dr. Augusto Fernández-Guardiola

"... un contenido rico e interesante es, sin duda, capaz de abreviar una hora e incluso un día, pero, considerado en conjunto, presta al curso del tiempo amplitud, peso y solidez de tal manera que los años ricos en acontecimientos pasan mucho más lentamente que los años pobres, vacíos y ligeros, que el viento barre y que se van volando. Lo que se llama fastidio es, en realidad, una representación enfermiza de la brevedad del tiempo provocada por la monotonía. Los grandes espacios de tiempo, cuando su curso es de una monotonía ininterrumpida, llegan a encogerse en una medida que espanta mortalmente al corazón."

Thomas Mann, *La montaña mágica*, 1924.

El transcurrir del tiempo en nuestro planeta ha dejado su huella en los seres que lo habitan. Desde células aisladas hasta organismos superiores, como los primates, muestran claramente una actividad cíclica, periódica, que puede estar relacionada con los días, los meses o los años. El tiempo promedio de vida en animales y plantas de una misma especie está misteriosamente determinado y hasta algunos fenómenos sociales parecen adoptar una modalidad cíclica.

Ahora bien, a medida que consideramos seres con un cerebro cada vez más desarrollado, tal parece que la actividad cíclica se hace menos aparente o preponderante y vemos surgir conductas con mayor independencia de los cambios internos y externos. Los animales dejan de hibernar o estivar. Los depredadores modulan su actividad en función de la de sus presas y aprenden a *esperar*, modificando incluso su ciclo de sueño-vigilia. Las hembras de los primates subhumanos sufren cambios hormonales que se reflejan en el estro, en función de catástrofes sociales y, al mismo tiempo, son capaces de predecir la hora en que van a ser alimentadas. Esta evolución hacia una conducta más compleja e independiente es acompañada por un extraordinario desarrollo de los telerreceptores. El animal enriquece su caudal de conocimiento del medio que le rodea; crecen las áreas sensoriales y motoras en la corteza cerebral. El oído, la vista, el olfato, proporcionan constantemente datos, información que contribuye a la creación de un esquema del entorno. Por su parte, los receptores cutáneos y los del interior del cuerpo, como los vestibulares, los de los músculos y tendones (propioceptores) y los de las vísceras, contribuyen a organizar un esquema corporal (en la región parietal de la corteza cerebral, en el caso del hombre), de tal consistencia y firmeza que, cuando se ha consolidado a través de muchos años, llega a tener un impacto sobre la conciencia que es más fuerte que la misma realidad. Por eso los humanos amputados experimentan el singular fenómeno del miembro fantasma. Sufren dolores en los dedos del

brazo o piernas que ya no poseen, intentan ejecutar movimientos con él y, al soñar, se ven a sí mismos íntegros.

Este saber más del propio ser y del entorno constituye el surgimiento de la conciencia en el reino animal y, con ella, el desarrollo de los mecanismos de control.

Regulación y control

Aquí quisiera hacer hincapié en la diferencia fundamental que existe entre los procesos de *regulación* y los mecanismos de *control*. La naturaleza especial de cada uno de estos procesos nos va a permitir postular que utilizan medidas del tiempo completamente distintas.

Por regulación entendemos un conjunto de procesos que permiten, dentro de un rango determinado, la constancia de una función. Así hablamos de la regulación de la glucosa sanguínea (que oscila entre 80 y 120 mg por ciento) o de la regulación de la temperatura (maravilloso mecanismo en el que interviene el hipotálamo, en los mamíferos, y que hace que un humano sano, expuesto al calor o al frío, mantenga la temperatura de su mucosa bucal en unos increíblemente exactos 37 grados centígrados). Algunos de estos mecanismos de regulación se desencadenan por estímulos externos, como el reflejo fotomotor, que regula la entrada de luz a la retina, contrayendo la pupila cuando hay mucha luz o dilatándola cuando es escasa. Otros procesos de regulación están precisamente ligados a los ritmos biológicos, circadianos o de otra índole, y se deslizan por nuestras vidas y las de los animales en forma silenciosa e inexorable. Los niveles de cortisol en la sangre del hombre descienden en la noche y suben en la madrugada, independientemente de si dormimos o no; es decir, están más ligados a un ciclo endógeno producto de la eterna rotación del planeta que al ritmo sueño-vigilia.

¿Cuál es la medida del tiempo en la regulación biológica? Para la regulación dependiente de ritmos endógenos va a ser exactamente el período del ritmo. Para la regulación dependiente de señales exógenas, el tiempo de actuación será muy próximo a la duración del

* Capítulo del libro: "Del tiempo. Cronos, Freud, Einstein y los genes". Editado por Fanny Blanck de Cereijido. Folios Ediciones, México 1983.

estímulo externo que introdujo el desorden, con cierta desviación que estará dada por la inercia específica del sistema de retroactivación. En ambos casos el efecto se dispara por una señal y se detiene, ya sea por la respuesta *off* de la misma o por una nueva señal (una hormona, por ejemplo). Lo fundamental para la conducta adaptativa es que el tiempo, las duraciones de la regulación, no penetra en el campo de la conciencia. Como la conciencia necesita de la memoria y es producto del aprendizaje, podemos concluir que el tiempo de la regulación es ignorado por vastas áreas del cerebro en los animales superiores. Es un tiempo no aprendido, determinado, en gran parte, genéticamente. Este hecho podría ser de gran significación en cuanto al ahorro de *hardware*, de circuitería cerebral, que queda así libre para ser empleada en funciones de otra índole que implican modificaciones de la conducta por experiencia previa, memoria, discriminación, en una palabra, mecanismos de control, programación, *software*.

¿Cuáles son estos mecanismos de control y por qué afirmamos que son distintos de los de regulación? Estos últimos son generalmente procesos no aprendidos, innatos, que se establecen completamente con la maduración del sistema nervioso y cuya duración, como hemos visto, sólo podremos apreciar mediante instrumentación. Los procesos de control surgen con el aprendizaje; con frecuencia su acción se ejerce en una dirección opuesta a la de una regulación determinada; son generalmente inhibitorios, aunque su resultado final variará según se inhiba una acción excitadora o una acción de regulación inhibitoria, lo que dará lugar a una conducta de activación. Ambos procesos —regulación y control— difieren también en cuanto a su lugar de integración en el sistema nervioso central (SNC) de los mamíferos. Los mecanismos de control son corticales y cerebelosos y ocupan extensiones muy grandes del cerebro. Los de regulación están apretujados entre el bulbo raquídeo y el diencefalo. La regulación de la sed, el hambre, la temperatura y la actividad sexual se integra en unos cuantos miligramos de tejido nervioso hipotalámico, alrededor del tercer ventrículo. Por otra parte, el cerebelo y la corteza somatosensorial, más de 400 gramos en el hombre, se dedican casi exclusivamente al control de las funciones motoras. Los prominentes lóbulos frontales ejercen primordialmente funciones cognoscitivas y de control inhibitorio sobre la conducta.

Un sentido del tiempo, sobre todo de la estimación correcta de las duraciones, es imprescindible para que pueda ejercerse un control apropiado. El tiempo del control es un tiempo aprendido y es notable su relativa exactitud y constancia. En los experimentos clásicos de Pavlov (1927) se utilizó la medida del tiempo, en cuanto a la capacidad de los animales para discriminar frecuencias, como reflejo condicionado, pero también se hizo el descubrimiento de que los perros podían *retardar* su respuesta incondicionada a un estímulo condicionado, cuando se empleaba un intervalo fijo entre ambos. Pavlov llamó a esto reflejo de *traza* y pensó que se debía a la traza o huella sensorial que deja el estímulo condicionado en las áreas de proyección de la corteza cerebral o “analizadores”, como él los llamaba. Quizá esto suceda, casi sin duda, pues en nuestra propia ex-

periencia podemos recordar por largo tiempo un estímulo sensorial que se nos aplicó brevemente, sobre todo si esto se repite varias veces. Pero más importante aún nos parece el hecho de que lo que los perros estaban demostrando era su capacidad para medir intervalos y emplear esta percepción de la duración como mecanismo de control inhibitorio de la respuesta incondicionada refleja. Esta importancia de la duración en los reflejos de traza se hace más notoria cuando, según el mismo Pavlov, en ellos se pierde un poco la especificidad del estímulo condicionado y el animal comienza a responder a cualquier estímulo (generalización), pero conservando el mismo intervalo para la respuesta incondicionada. Es decir, en este caso el estímulo condicionado eficaz es la estimación del tiempo transcurrido. Este tipo de respuesta puede encontrarse en situación de reforzamiento tanto positivo como negativo. Las técnicas de condicionamiento instrumental u operante han proporcionado resultados semejantes, probando así que el animal es capaz de controlar, no solamente reflejos incondicionados o innatos, sino patrones de conducta complejos, gracias a su capacidad de estimar el tiempo transcurrido.

Este sentido del tiempo que poseen los animales ha quedado, curiosamente, fuera del ámbito de la fisiología. Es asombroso ver que tratados excelentes de esta ciencia dedican centenares de páginas a la visión, la olfacción, la audición o el sentido del tacto o el dolor, y ni una sola a la formidable capacidad de medir duraciones e intervalos, capacidad que hace posible la vida social de los animales. ¿Por qué este evidente descuido de una función tan importante? La única explicación sería que durante más de dos siglos los fisiólogos reduccionistas consideraron que funciones como la estimación del tiempo transcurrido eran funciones *mentales*, que no deberían ser objeto de estudio de la neurofisiología. Y esto debido al dualismo mente-cuerpo imperante, sobre todo en las ciencias anglosajonas. Basta recordar el escepticismo y aún el rechazo con que fue recibido en un principio el trabajo de Pavlov sobre reflejos condicionados. Pavlov recibió el premio Nobel en 1904 por sus trabajos sobre la fisiología de la secreción gástrica y pancreática, y muchos científicos occidentales lamentaron que después se dedicara a hacer experimentos “que cualquier domador de animales de un circo conocía desde tiempo inmemorial. . .” Pero lo más interesante es que el propio Pavlov, con una excelente y ortodoxa formación fisiológica, interprete sus experimentos en función de estímulos sensoriales y respuestas secretoras, sin darle demasiada importancia al sentido del tiempo en los animales.

Para encontrar datos sobre este aspecto es necesario acudir a la psicología experimental de principio de siglo, sobre todo a la psicofísica de la escuela alemana de Wundt y la francesa de Pierón.

El tiempo de reacción

Aquí debemos hacer un paréntesis y referirnos a un tiempo, el tiempo de reacción, algo que llegó sorprendentemente tarde a nuestro conocimiento sobre las funciones cerebrales, y digo tarde porque acaeció entre

1800 y 1860, más o menos. Antes de esa fecha no se sabía lo lento que es el hombre para responder a un estímulo sensorial. No es sorprendente que los primeros en detectar la considerable latencia entre la presentación de un estímulo visual y su relación subjetiva con uno auditivo fueran los astrónomos, pues ellos calibraban sus relojes por el método de Bradley, técnica visuoacústica consistente en calcular, con un "error" no mayor de 0.1 segundo, el paso de una estrella por la cuadrícula de un telescopio. El paso por el punto crítico se relacionaba mentalmente con el tic-tac de un reloj que marcaba segundos sonoros. Cuando este método se empleó en diversos observatorios de Europa occidental, los astrónomos se dieron cuenta de que había variaciones, discrepancias hasta de un segundo entre las medidas de unos y otros.

Llamaron a este fenómeno "la ecuación personal", y dedicaron mucho tiempo a realizar medidas comparativas. Más tarde se desarrolló el cronógrafo electromecánico, que redujo la ecuación personal al ideal que se habían trazado de más o menos 0.1 seg. Lo que los astrónomos descubrieron fue lo que se llamó más tarde el tiempo de reacción (TR); se percataron de su naturaleza fisiológica y de lo inevitable de sus variaciones, y pasaron el problema a los psicofísicos experimentales.

Exner introdujo el término de tiempo de reacción en 1873 y lo utilizó como un método indirecto para emprender estudios cuantitativos de procesos de percepción, discriminación y elección. Para nosotros la importancia del tiempo de reacción estriba en el hecho de que se trata de un tiempo que debemos adscribir a los mecanismos de control. Los tiempos de reacción que implican una respuesta voluntaria ante una señal que previamente no tenía significado alguno no son reflejos simples, como el reflejo palpebral, sino respuestas elaboradas; básicamente son reflejos condicionados de tipo *voluntario*, desde el momento en que se le da al sujeto una orden verbal o se refuerza una respuesta instrumental a un estímulo dado. Los tiempos de reacción van a depender de factores intrínsecos y extrínsecos. Los intrínsecos pueden ser el estado y dirección de la atención del sujeto (Morrell y Morrell 1962); el llamado período preliminar o preparatorio (Mowrer 1940); la concentración y motivación (Gastaut 1957); la práctica previa (Breitwieser 1911), así como la distracción y la fatiga y el biotipo (Smith y col. 1943); la enfermedad, sobre todo mental, el estado emocional y la temperatura corporal. Entre los factores extrínsecos son básicos el órgano sensorial estimulado, la región del órgano sensorial que se está estimulando, la duración del estímulo, su intensidad, su frecuencia, efectos *on-off* y los procesos de discriminación forzada (Steiman 1944), y la acción de fármacos, sobre todo de los llamados psicotrópicos.

Utilizando técnicas de registro poligráfico (procedimiento de registro, generalmente eléctrico, de variables como el electroencefalograma (EEG), el electrocardiograma (EKG), la temperatura, la frecuencia respiratoria, la respuesta galvánica de la piel (GSR), se ha intentado establecer correlaciones entre el tiempo de reacción y algunas de estas variables. Tal vez la más estudiada fue el llamado bloqueo del ritmo *alfa* del

EEG y de otros ritmos cerebrales. Es un hecho bien conocido que una estimulación sensorial breve, de preferencia visual, produce una disminución o desaparición pasajera del ritmo alfa (ondas a una frecuencia de 8-13 ciclos por segundo, de localización occipital), que se sustituye por actividad *beta* (rápida y de bajo voltaje, característica de la atención y el despertar electroencefalográfico). La correlación entre el bloqueo del ritmo alfa y el TR no ha proporcionado resultados consistentes. El primero puede llegar a desaparecer en el transcurso de una prueba de larga duración, mientras que el TR se mantiene relativamente constante. Por el contrario, puede suceder que existan grandes variaciones del TR, que oscile de, por ejemplo, 180 milisegundos, a 450, sin que se detecte nada semejante en el bloqueo del ritmo alfa (Fernández-Guardiola y col. 1965). Lo que parece suceder en realidad es que el tiempo de reacción está relacionado, no con lo que pasa instantáneamente en el momento de la presentación del estímulo, sino con toda una serie de eventos que suceden durante todo el intervalo entre los estímulos, sobre todo en los segundos que preceden al estímulo cuando la estimulación es de tipo periódico o isócrona, o incluso con la oscilación de los ritmos EEG dominantes en los intervalos, aunque la estimulación sea de tipo estocástico (al azar) (Fernández-Guardiola y col. 1968).

No conocemos aún cuál es el significado del ritmo alfa cerebral. Se ha pretendido adjudicarle la función de "reloj biológico". Ahora bien, este ritmo desaparece, como hemos visto, en la situación TR, con los estímulos sensoriales puros, con el cálculo mental o simplemente con la estimación consciente de la duración de un intervalo. Parecería pues que el mecanismo de medida es la ausencia de ritmo alfa, y no el ritmo alfa en sí mismo. Es más, si en una situación de TR simple en una prueba isócrona de larga duración (Fanjul-Moles 1976) se llega a un estado de desactivación con ligera somnolencia, el ritmo alfa desaparece y es sustituido por actividad más lenta. En estas condiciones, el estímulo sensorial que se esté empleando y la respuesta motora provocan la reaparición del ritmo alfa. A éste se le llama entonces "alfa paradójico", pues en lugar de bloquearse aparece con el estímulo; lo más curioso es que entonces tienen lugar los TR más largos, del orden de 350 msec o más. Es decir, esta reaparición del ritmo alfa no le sirve al sujeto para mejorar su tiempo de reacción. Para que esto suceda el EEG debe estar dominado por patrones rápidos de la banda beta.

El TR es un tiempo, como ya hemos dicho, extraordinariamente largo. La latencia entre la aplicación de un estímulo luminoso a la retina y la llegada de los impulsos nerviosos que viajan por la vía visual a la corteza cerebral es, en el hombre, de unos 30 milisegundos. La respuesta motora es aún más rápida, unos 15 milisegundos desde el área motora de la corteza rolándica hasta el músculo actuante. Siendo el promedio de TR en los individuos más rápidos de alrededor de 200 milisegundos, obtenemos una diferencia de unos 155 milisegundos, lo que es verdaderamente un tiempo larguísimo, sobre todo si tenemos en cuenta que el SNC puede actuar más rápidamente, por ejemplo en los reflejos de la médula espinal, donde el estiramiento súbito de

un músculo produce una respuesta flexora con una breve latencia, de menos de dos milisegundos. ¿En qué emplea el cerebro un tiempo tal largo en el TR? Desde luego los impulsos nerviosos deben viajar desde el área sensorial cortical, a través de vías córtico-corticales, o probablemente de vías córtico-subcorticales, hasta el área motora. Pero, a pesar de que estas vías son polisinápticas (muchos contactos entre neuronas, con el consiguiente retardo en la transmisión), esa comunicación podría hacerse mucho más de prisa si se tratara de un proceso de regulación innato o incondicionado; es decir, si el responder a una luz apretando una palanca fuera algo que realizáramos desde niños, sin necesidad de ser advertidos, sin necesidad *de aprenderlo*, como no necesitamos aprender a cerrar los ojos cuando un objeto se acerca peligrosamente a ellos.

De esto se concluye, en primer lugar, que los procesos de control, al asociar estímulos previamente anodinos, con respuestas motoras, secretoras o mentales, "permeabilizan" sinuosos nuevos caminos en el seno del SNC, lo que demuestra la propiedad de plasticidad del cerebro, hecho bien conocido a partir de los fenómenos de recuperación de funciones después de lesiones y a través de los mismos reflejos condicionados. En segundo lugar, y esto tiene importancia respecto a la integración del sentido del tiempo, los procesos de control son en general muy lentos, sobre todo en su etapa inicial, y sólo adquieren cierta rapidez con la repetición y el aprendizaje subsecuente.

Ya hemos visto que los tiempos de diversos procesos como la regulación y el control son muy distintos, pero su diferencia no estriba solamente en la duración sino en su varianza. Algunos mecanismos de regulación son de larga duración, pero su período es de gran constancia; el tiempo de las respuestas aprendidas, de las duraciones estimadas, oscila mucho. El TR, que es tal vez la respuesta aprendida más simple, puede variar de 160 a 400 mseg.

Para establecer cómo se integra el sentido del tiempo será, pues, de gran interés saber si tiene su origen en los tiempos de la regulación o en las duraciones de los mecanismos de control. Si fuera a partir de los primeros, deberíamos encontrar un sentido temporal de gran exactitud, presente desde las primeras etapas del desarrollo ontogénico y capaz de medir intervalos cortísimos, como los de las reacciones enzimáticas o el período refractario absoluto de las fibras nerviosas. Es evidente que en la medida subjetiva del tiempo somos incapaces de apreciar intervalos demasiado breves y, como veremos más adelante, no desarrollamos un sentido del tiempo como tal, sino en las etapas finales de la niñez. Todo esto nos inclinaría a pensar que el tiempo subjetivo está más bien ligado a los procesos aprendidos de control.

El tiempo subjetivo

Ahora bien, ¿qué es el tiempo subjetivo? En el epígrafe de este artículo citábamos un largo párrafo de Thomas Mann, que describe admirablemente la diferencia entre el tiempo vivido en el presente y el tiempo recordado, y sobre todo lo cruciales que son los acontecimientos, los eventos o señales que se inscriben en

una duración dada, para conferir una peculiar elasticidad al tiempo subjetivo. Pero el tiempo subjetivo no es una percepción aislada, como puede ser la visión o la audición. El concepto de tiempo mental está ligado necesariamente a la idea de espacio, a la de velocidad y duración. Los experimentos de Piaget (1946) parecen demostrar que los niños los aprenden y comienzan a integrar en este orden: espacio, velocidad, duración y tiempo. Según Piaget, el problema estriba en si el tiempo es percibido como una intuición directa o como una relación y, si éste es el caso, cuál es la que existe entre el tiempo y la velocidad en la mente infantil. Como adultos nos enfrentamos a una situación un poco singular: definimos la velocidad mediante el paso del tiempo, pero llegamos al concepto del tiempo, y sobre todo lo medimos, solamente aceptando velocidades (Piaget 1966). Piaget se pregunta inicialmente si el niño llega intuitivamente a la fórmula $v = d/t$, es decir a juzgar velocidades mediante la relación entre espacio recorrido y tiempo. Los experimentos de este gran investigador lo llevaron a reconocer que éste no era el caso, en absoluto. Encontró que en los niños la intuición de velocidad precede a la noción de mensurabilidad. La hipótesis que defiende es que, psicológicamente, el tiempo depende de la velocidad; más aún, que el concepto primitivo del tiempo es una coordinación de velocidades, *de distintos movimientos con sus velocidades*.

Piaget llegó a esta conclusión realizando experiencias en las que necesariamente se comparaban dos objetos en movimiento. Esto involucra una estimación de la velocidad de acuerdo con el orden de las posiciones que permiten a un niño de temprana edad afirmar que un objeto en movimiento que alcanza y rebasa a otro va más rápido que el rebasado. Lo importante aquí es que la idea de alcanzamiento y rebase es independiente de la idea de duración.

Piaget se inclina firmemente por la idea de que el tiempo subjetivo es una relación progresivamente elaborada, en la que podemos distinguir una etapa perceptual, otra de nociones preoperacionales y por último un nivel operacional. Lo que sucede en este último nivel es explicado así:

Primera operación. La constituye un ordenamiento de los acontecimientos. El niño es capaz de reconstruir una serie de eventos sucesivos. Distingue lo que pasó después de lo que sucedió antes.

Segunda operación. Puede designarse como la clasificación de duraciones. El niño ya no sólo ordena eventos, sino que también puede ordenar y clasificar la duración del intervalo entre ellos. Esto todavía no implica mensurabilidad del tiempo. Es simplemente distinguir lo que duró más de lo que fue más corto. Pero sí —y a esto Piaget da particular importancia— revela que el niño es capaz de revisar la secuencia de duraciones, de memorias. Significa una especie de reversibilidad de las operaciones temporales, opuestas a la irreversibilidad de los eventos.

Tercera operación. La medida del tiempo. Volvemos a insistir en que ésta será imposible, según Piaget, si no se realiza antes la coordinación entre el orden o sucesión de los eventos y la clasificación de los intervalos. Es necesario recordar que esto no es nada fácil y

que son necesarios 5 ó 6 años de desarrollo cerebral, y a veces más, para lograrlo.

La tercera operación sería, pues, un proceso de síntesis entre las duraciones y la sucesión o secuencia de los eventos. Antes de alcanzar estas etapas, cuando el niño está todavía en el nivel preoperacional, no sirve de nada permitirle observar relojes o cualquier dispositivo para medir el tiempo. *Entender* el tiempo mirando la esfera de un reloj es un proceso aprendido que implica necesariamente haber alcanzado la síntesis de la tercera operación de Piaget. Es interesante observar cómo por la acción de algunas drogas como la psilocibina (hongos alucinógenos) o la dietilamida del ácido lisérgico (LSD), tiene lugar una regresión que hace que los adultos intoxicados por alguna de estas drogas no puedan calcular el paso del tiempo sirviéndose de un reloj.

Como hemos visto, Piaget diseñó en forma propositiva sus experimentos, de tal suerte que siempre aparecía el factor velocidad. Como él mismo refiere en el prólogo de *El desarrollo de la noción del tiempo en el niño*, durante una entrevista con Einstein éste le preguntó si la noción de tiempo subjetivo es inmediata o derivada, y si desde un principio se integraba con la velocidad o no. Es muy posible que el establecimiento de la velocidad de la luz como una constante universal y el tiempo como una dimensión del espacio, por parte de la teoría de la relatividad, influyeran en los diseños experimentales de Piaget, que buscaba un isomorfismo psicofísico.

Otros investigadores sobre el tiempo pensaron en forma distinta. Así Paul Fraisse (1963) afirma que el tiempo vivido o subjetivo no es producto de una relación, sino una experiencia directa, que se integra mediante la percepción del número de eventos cambiantes por parte del sujeto. Cuando éste es consciente de un gran número de cambios en su actividad, el tiempo subjetivo parece más largo, mientras que a medida que disminuyen los cambios en el entorno el tiempo parece encogerse. En el esquema experimental de Fraisse aparece una sola variable, la frecuencia de estímulos sensoriales que se aplican durante los intervalos que deben ser juzgados o estimados, y no dos variables que impliquen una relación. La respuesta de Piaget es muy sencilla: asume que los cambios de frecuencia toman el lugar de distintas velocidades. Acepta que el número de eventos cambiantes juega un papel, pero debido a que el ritmo o frecuencia de ellos toma el rol de la velocidad. Para demostrar su aseveración hizo experimentos con frecuencias de estimulación auditiva que se aceleraban o desaceleraban con mayor o menor rapidez, y pudo comprobar que más importante que el número de eventos cambiantes parecía ser la velocidad de cambio.

Lo que es evidente es que ninguna de ambas hipótesis explica por completo el tiempo subjetivo. Si no hay objetos en movimiento cuyas velocidades relacionar, o frecuencias percibidas, no habría tiempo subjetivo, y esto no es cierto. Podría deberse a que ninguno de estos dos autores tomó en cuenta que los mecanismos cerebrales de estimación del tiempo estuvieran detectando velocidades y número de cambios de procesos internos no ligados directamente a la estimulación sensorial experimental, sino procesos cíclicos de regula-

ción. Aquí es necesario recordar que los procesos cíclicos regulatorios son de naturaleza no consciente.

Llegamos entonces a un punto en el cual vemos que es necesario relacionar procesos de regulación con procesos de control, para explicarnos las características del tiempo subjetivo. Si esto es cierto, la hipótesis que se plantea es que será posible entonces modificar el tiempo subjetivo alterando algún proceso de regulación corporal. La respuesta es, sí es posible.

En 1928, Francois, discípulo de Pierón, resumió sus trabajos sobre la percepción de las duraciones en una publicación titulada "Influencia de la temperatura interna sobre nuestra apreciación del tiempo". Este investigador elevaba la temperatura de sujetos de experimentación voluntaria, sin que éstos se dieran cuenta, mediante diatermia. Notó que cuando esto sucedía los sujetos calculaban los segundos más "cortos".

Simultáneamente, Hoagland (1933) venía trabajando en la influencia de la temperatura sobre la velocidad de las reacciones químicas, hecho descrito formalmente por Arrhenius en 1880. La gráfica de la ecuación de Arrhenius para resultados experimentales es una línea recta de inclinación negativa, cuando se grafica el logaritmo de la velocidad de una reacción química contra la recíproca de la temperatura absoluta. Esta ecuación describe una gran variedad de reacciones químicas bimoleculares simples y permite calcular una constante conocida como "energía de activación" (E). Es el equivalente de la cantidad de energía cinética por mola que deben adquirir las moléculas antes de que puedan reaccionar. En los años 20, Crozier (1925) aplicó esta ecuación a diversos fenómenos biológicos, como la frecuencia del canto de los grillos o la motilidad de insectos. Lo mismo hizo Fries (1926) midiendo la relación entre la temperatura y la frecuencia del latido del corazón de la cucaracha. Llamaron a su constante *mu* para diferenciarla de la E de los químicos, y se referían a ella como "la característica de temperatura", partiendo de la hipótesis de que la frecuencia de un ritmo fisiológico es directamente proporcional a la velocidad de algún marcapaso químico subyacente. Hoagland llevó esta idea más lejos, hasta explicar las variaciones del tiempo subjetivo en la fiebre y en la hipotermia, en los niños (metabolismo cerebral acelerado) y en los ancianos (metabolismo lento). En un notable trabajo, "La conciencia y la química del tiempo" (1951), expone sus resultados de medidas de la constante *mu* y ritmo alfa. Encontró tres modas características para ese ritmo, una de 8 000 cal. para individuos adultos normales, otras de 11 000 y 16 000 cal. para enfermos con diferentes grados de parálisis general progresiva (una forma de neurosífilis, rara en la actualidad).

Vemos así que el tiempo subjetivo no posee "duraciones puras", vacías; siempre estará regido por la velocidad de los procesos cíclicos de regulación. ¿Qué pasará si éstos se detienen en forma total, pero reversible? Para el ser biológico en que esto ocurra se detendrán el tiempo y el envejecimiento, y el individuo será lanzado al futuro, a un futuro cuya lejanía dependerá del tiempo en que se puedan paralizar totalmente, mediante bajísimas temperaturas, todos los procesos metabólicos, sin causar un daño irreparable. Tal cosa puede

ya realizarse con animales inferiores, y también con espermatozoides de diversas especies, incluyendo al hombre.

Esta detención del tiempo recuerda forzosamente otra atemporalidad, la propuesta por los cosmólogos como *singularidades del espacio-tiempo* (Davies 1978). Una singularidad es un estado que pudiéramos llamar patológico del universo, en el cual por un "encogimiento" infinito la densidad de la materia y la curvatura del espacio-tiempo llegan a ser también infinitos. Aquí la teoría de la relatividad, y en realidad toda la física, deja de tener aplicación. El tiempo se detiene, no existe, como en nuestros animales congelados. Esto debió pasar al comienzo del *Big bang* universal, pero parece que sucede también, en forma estocástica, al azar, al final del colapso gravitacional de las estrellas, en la evaporación de los "agujeros negros". Estos hoyos negros son verdaderos sumideros de información; todo entra en ellos y nada sale, a excepción de una aureola de partículas.

Volviendo al tiempo subjetivo del hombre podemos juzgar que no es necesario ya considerarlo como algo *sui generis* e independiente del tiempo físico. Fue descrito como independiente del tiempo newtoniano, pero ya sabemos que este *tiempo inmutable, eterno en su fluir*, ni fluye ni es inmutable, es falso. El tiempo universal tiene sus cambios y veleidades, como el tiempo subjetivo, del a ratos feliz Hans Castorp de *La montaña mágica*.

Ahora bien, la idea del tiempo no tiene sentido si no va acompañada de sus tres modificadores sempiternos: el presente, el pasado y el futuro. En un trabajo anterior decíamos que en realidad algunos de los acontecimientos de nuestras vidas los vivimos tres veces (con muy distintas temporalidades): una cuando los planeamos y proyectamos al futuro, otra cuando los realizamos o experimentamos y constituyen nuestro presente, confiriéndole duración, una más cuando, fijados en la memoria, constituyen un recuerdo consciente. Podríamos agregar una cuarta instancia, de distorsionada temporalidad, en el caso de que los soñemos.

Tiempo, memoria y predicción

Surgen aquí otras funciones que consideramos necesarias para la integración del concepto de tiempo en la conciencia: la memoria y la capacidad de predicción. Sin estas dos funciones el futuro no tendría sentido y el pasado sería ignorado. El ser viviría en continuos presentes inconexos, como probablemente lo hagan los idiotas. Al respecto, recuerdo especialmente un caso de esclerosis tuberosa que estudiamos guiados por el doctor Dionisio Nieto. Era una joven que vivió algunos años en el manicomio de la Castañeda, y cuya única actividad era contemplar su mano derecha fijamente, como si a cada instante la descubriera por primera vez.

La memoria del tiempo transcurrido se pone en evidencia en las experiencias de habituación sensorial en animales. Este fenómeno, como es bien sabido, consiste en la disminución y abolición de una respuesta ante un estímulo sensorial, cuando éste deja de poseer un significado para el animal por su repetición monótona y

sobre todo *periódica*. Este proceso conductual se acompaña de depresión, hasta la desaparición, de las respuestas eléctricas provocadas por los estímulos en las vías sensoriales del animal (potenciales evocados). El animal se "acostumbra" y se vuelve indiferente ante el estímulo. Lo que aquí nos atañe es que el animal va a deshabituarse, a responder de nuevo y a reaparecer sus respuestas eléctricas cerebrales, simplemente cambiando la frecuencia del estímulo, es decir, el intervalo entre uno y otro. En el curso de unas experiencias de este tipo (Fernández-Guardiola y col. 1967) observamos que si se suspende un estímulo después de una larga serie de ellos (una hora de estar estimulando con un destello luminoso, cada cuatro segundos), el animal se deshabituaba súbitamente y vuelve a responder con una reacción de orientación y potenciales evocados. Este hecho demuestra que durante la habituación sensorial no todas las células de una modalidad dada se deprimen, sino que, por el contrario, algunas permanecen detectando la duración del intervalo con que aparecen los estímulos, pues responden produciendo una activación generalizada en el momento en que no se cumple la aparición de un nuevo estímulo. Aquí tenemos que admitir una medida preconsciente o inconsciente de las duraciones, cosa que contradice formalmente la creencia tan difundida sobre la atemporalidad de los fenómenos del inconsciente.

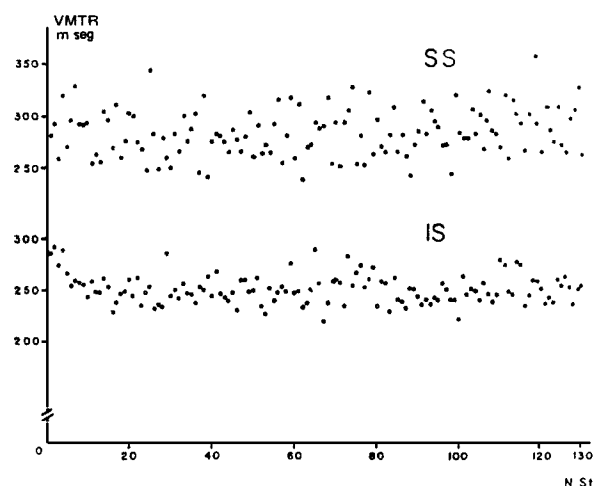


Figura 1. Promedios de los tiempos de reacción (VMTR) en diez sujetos a los que se aplicaban 130 estímulos visuales. SS significa estimulación estocástica. IS, estimulación periódica, isócrona. En la situación IS, el VMTR se estabiliza rápidamente. En la SS, el VMTR es más alto y presenta una mayor variancia.

Para comprobar esta hipótesis realizamos experiencias en humanos, sujetos voluntarios a los que sometimos a largas series de estímulos totalmente al azar (estocásticos) y periódicos (isócronos). Con el objeto de que la estimulación tuviera siempre un significado, y minimizar los efectos de habituación, establecimos una situación de tiempo de reacción simple. Al mismo tiempo se registraba el EEG. Los resultados (figura 1) muestran que la situación isócrona produce una facilitación de la respuesta, menor variancia y un promedio general menor del tiempo de reacción. El registro poligráfico y el EEG pusieron en evidencia que en el

transcurso de la estimulación isócrona se desarrolla un estado de expectación que se traduce en atenuación del ritmo alfa, aceleración cardíaca, mantenimiento de la respuesta galvánica de la piel y aumento de la respuesta eléctrica de la corteza visual a los estímulos. En esta situación aparecen también respuestas de tipo predictivo, es decir, que se inician antes de la aparición de los estímulos. Esto nunca tiene lugar, desde luego, cuando la estimulación es de tipo estocástico.

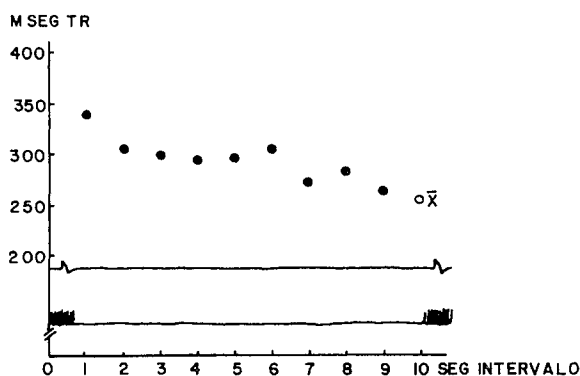


Figura 2. Promedios de las respuestas TR de diez sujetos que estaban respondiendo a un intervalo fijo de 10 segundos. Ocasionalmente se inyectaban estímulos al azar en algunos de los 9 segundos intraintervalo. Puede observarse cómo la expectación es máxima al aplicar el estímulo estocástico en los últimos segundos del intervalo fijo.

En trabajos posteriores se exploró el curso de esta expectación para un intervalo fijo de 10 segundos, inyectando en el programa de estimulación isócrona algunos estímulos al azar, desde luego no esperados por el sujeto, en los segundos del uno al nueve. Los resultados permitieron trazar una curva de esta expectación, que tiene un carácter exponencial (figura 2). Fue notable la diferencia entre los segundos 1 y 2, lo que sugiere un estado de desactivación inmediato a la respuesta, que pudiera coincidir con la sincronización cerebral posejecución de los experimentos de condicionamiento. También se encontró que el tiempo de reacción en el segundo 9 era mucho más corto y parecido al 10 (óptimo), que el de los segundos 6-7-8.

Estos experimentos demostraban que los sujetos aprendían la duración del intervalo y podían recordarla. Cuando eran interrogados se obtuvieron respuestas de las más variadas. Unos contaban segundos mentalmente, otros lo hacían vocalmente, otros más imaginaban figuras geométricas que crecían progresivamente en el número de lados. Hubo quien contaba sus movimientos respiratorios, pero la mayoría expresó que simplemente "sentía" el intervalo.

Para valorar la duración de la fijación en la memoria de este intervalo se exploró, con los mismos medios poligráficos, la relación que pudiera existir entre los tiempos de reacción (que reflejan la predicción del fin del intervalo) y la estimación del tiempo, es decir, de la duración del intervalo, en ausencia de estímulos.

Para esto los sujetos deben responder con rapidez, apretando un botón, ante los estímulos visuales que aparecen una vez cada, por ejemplo, diez segundos,

durante diez minutos, e inmediatamente estimar estos mismos intervalos, apretando el botón durante dos minutos, en ausencia de toda estimulación. Estas series de estimulación y TR y estimación del intervalo se repiten cuatro veces durante 50 minutos. De esta forma se puede, no solamente establecer si hubo aprendizaje, sino hacer un estudio de correlación entre el tiempo de reacción y la estimación del tiempo. Es decir, entre un proceso que ya sabemos que depende del estado general de alerta y atención, coincidente con ritmos eléctricos cerebrales rápidos y el tiempo subjetivo. Podemos afirmar lo anterior porque la estimación del tiempo, medida por la producción voluntaria de un intervalo, es la expresión unívoca del tiempo subjetivo.

Es necesario repetir que la medida del tiempo subjetivo, la estimación del intervalo en estos experimentos, es un proceso aprendido. Los sujetos aprenden la duración de un intervalo que tiene límites netos (una situación de estimulación visual intensa y su respuesta motora) y después intentan reproducirlo. Tanto en la situación de estímulo-respuesta, como en la de producción del intervalo, es posible registrar diversas variables por medios poligráficos y establecer correlaciones múltiples. Las variables registradas en nuestros experimentos, como ya hemos señalado, se refieren al sistema nervioso autónomo (respuesta galvánica de la piel o reflejo psicogalvánico, amplitud y frecuencia de los movimientos respiratorios y frecuencia cardíaca); otras reflejan actividad motora y procesos centrales somáticos (la contracción de los músculos flexores del antebrazo, que precede en más de 50 milisegundos al pulsado del botón por el dedo, o sea al tiempo final de reacción). Particular empeño pusimos en el análisis del electroencefalograma. Puesto que nuestra situación experimental está acotada por límites precisos, nos interesó ver si dentro de estos límites de 10 segundos aparecían y se repetían patrones de combinaciones de los ritmos cerebrales (delta, theta, alfa, beta, yendo de lo más lento a lo más rápido), registrados en las regiones occipitoparietales de ambos hemisferios cerebrales.

La doctora en ciencias María Luisa Fanjul-Moles (1976) hizo la parte experimental de su tesis en nuestro laboratorio. Trabajó con 12 sujetos normales, en la situación experimental que acabamos de describir. Analizó los registros electroencefalográficos con especial énfasis en las configuraciones de los diversos tipos de ritmos. Encontró nueve patrones o distribuciones que, en general, mostraban una desactivación progresiva del EEG, a medida que el tiempo de reacción tendía a ser más prolongado. Especialmente encontró que, cuando cesaba el bloqueo del ritmo alfa por los estímulos, o ese ritmo era sustituido por frecuencias de la banda theta (5-7 cps) la vigilancia de los sujetos mostraba un manifiesto deterioro. Los patrones caracterizados por reaparición del ritmo alfa (alfa paradójico) provocada por los estímulos, en una breve descarga seguida de ritmos theta o delta, se acompañaron de tiempos de reacción notablemente prolongados (más de 300 msec). Por el contrario, cuando la tarea de ejecución era óptima, los patrones EEG fueron del

tipo beta-alfa-beta, lo cual indica, primero, una reactividad adecuada al estímulo, segundo, un periodo de relajamiento, cuando el individuo *sabe* que no habrá estímulo y, tercero, un periodo corto de expectancia, en los últimos segundos del intervalo.

Vemos así que se continúan acumulando datos indirectos sobre la integración central del tiempo de reacción. Esto acrecienta el interés de la correlación entre el TR y la estimación subjetiva del tiempo, pues es obvio que al poderse establecer ésta, con gran significado, será posible especular sobre sus mecanismos, como al principio se hizo en relación con la temperatura.

Para lograr establecer esta correlación es necesario obtener en un mismo sujeto datos sobre el TR y la ET que varíen en un amplio rango. Esto no es fácil en circunstancias normales. Es necesario llegar a los estados de desactivación mencionados que se acompañan de somnolencia. Para ello se requieren pruebas muy largas, que provoquen estados de habituación, como las que hemos descrito. Pero en determinados sujetos, intensamente motivados, la variancia del TR puede ser pequeña, aun durante horas. La solución surgió cuando utilizamos este tipo de pruebas de monitoreo con el objeto de valorar fármacos hipnóticos o tranquilizantes menores. En un trabajo de este tipo (Fernández-Guardiola y col. 1972) encontramos que un mismo sujeto mostraba TRS con una gran variancia bajo la acción del heptobarbital y de una amida primaria derivada del novonal. Diez sujetos, cinco hombres y cinco mujeres, voluntarios jóvenes, sanos, fueron sometidos a cinco pruebas cada uno, las que incluían un control, tres dosis diferentes de fármacos y un placebo. Los fármacos produjeron un considerable alargamiento del TR. Cuando se comparó el TR de cada periodo de la prueba con los datos de la estimación del tiempo en el mismo periodo se encontró una correlación significativa r ($r = 0.922$), lo que muestra que, a medida que los sujetos caían en somnolencia, con desactivación EEG, se hacían más lentos y a la vez su juicio de tiempo real se alargaba, tanto que producían intervalos de 20 o más segundos, con la seguridad de que eran de 10 (figura 3).

A diferencia de los sujetos de Hoagland y François, que bajo el efecto de la fiebre juzgaban que el tiempo real transcurría muy lentamente, nuestros sujetos sedados estimaban que el tiempo real pasaba con mayor rapidez, por eso alargaban su intervalo producido.

Esta diferencia entre juzgar una duración real y producir esa misma duración de acuerdo con el tiempo subjetivo, es una gimnasia mental a la que debe acostumbrarse el estudioso del tiempo. También es algo que hay que tomar muy en cuenta al valorar un experimento, pues ambos métodos se usan con frecuencia. La disminución de la velocidad de los ciclos internos, y del metabolismo en general, produce la sensación de que el tiempo transcurre más de prisa. Quizá a esto se deba la sensación que tienen las personas de edad avanzada "de que los años se van volando", situación tan distinta a los días eternos de la niñez.

De los experimentos que acabamos de describir

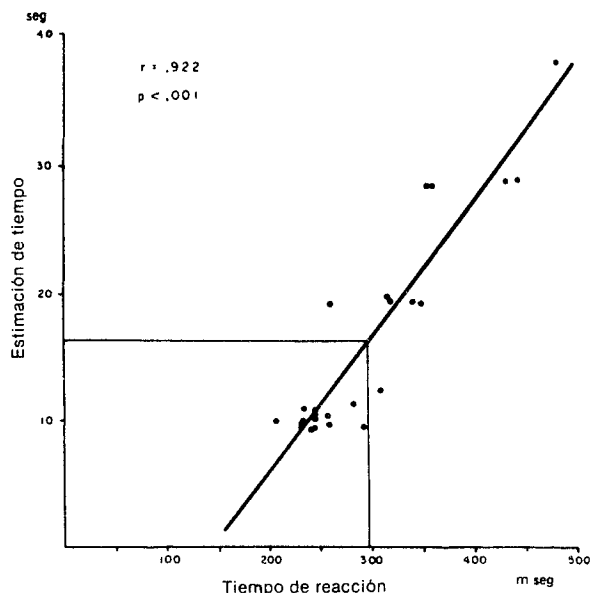


Figura 3. Relación entre el tiempo de reacción y la estimación del tiempo por el método de producción de un intervalo. Los puntos representan el promedio de 3 pruebas, en 10 sujetos. Los valores más lentos (superiores a 350 msec) de TR se indujeron con fármacos hipnóticos ligeros. A medida que la desactivación cerebral se acompaña de aumento notable del TR, aparece un alargamiento muy significativo de la estimación del intervalo.

surgió otra variable que se relacionó en forma positiva significativa con el tiempo subjetivo; ésta fue la frecuencia cardíaca (FC). Ya habíamos observado que cuando un sujeto mantiene un TR adecuado por largo tiempo, su frecuencia cardíaca tiende a mantenerse estable o a subir ligeramente. Por el contrario, cuando el TR se alargaba y comenzaban a aparecer fallas en la respuesta, coincidía con bradicardia progresiva. Al comparar los promedios de estimación del tiempo

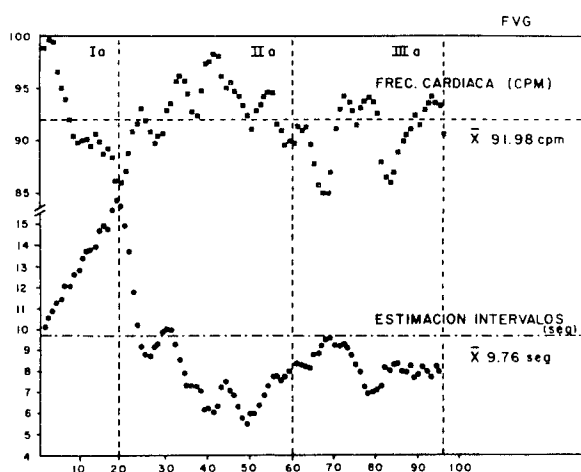


Figura 4. Relación entre la frecuencia cardíaca (FC) y la estimación de un intervalo de 10 segundos. La gráfica incluye tres pruebas en un mismo sujeto (Ia, IIa, IIIa.). En la primera prueba presentó una taquicardia inicial seguida de un descanso gradual de la FC; esto se acompañó de un incremento, también progresivo, de la estimación del intervalo. En las pruebas subsiguientes (IIa, IIIa.) persiste esta correlación negativa significativa entre ambos fenómenos.

con la frecuencia del corazón se encontró, en algunos individuos, la misma relación, es decir, producían intervalos más cortos cuando el corazón se aceleraba y viceversa (figura 4). Esta correlación negativa fue significativa y más notoria en aquellos sujetos que mostraban un ritmo cardíaco acelerado durante la mayor parte de la prueba.

Para analizar el posible papel de los latidos cardíacos en la estimación de un intervalo se hicieron experimentos en los cuales los sujetos escuchaban mediante audífonos los latidos de su propio corazón durante toda la prueba. La figura 5 muestra las líneas de regresión de la estimación de un intervalo aprendido de 10 segundos, en situación experimental de silencio y durante la aplicación de los latidos cardíacos audibles. Cinco de los diez sujetos estudiados mostraron esta correlación negativa con un alto grado de significación. Es un hecho notable que, en ellos, la línea de regresión cruza el promedio de la frecuencia cardíaca durante la estimación, precisamente en los 10 segundos ideales. Es decir todas las ET más cortas tienen lugar con taquicardia y las más largas con bradicardia, con respecto a la FC control.

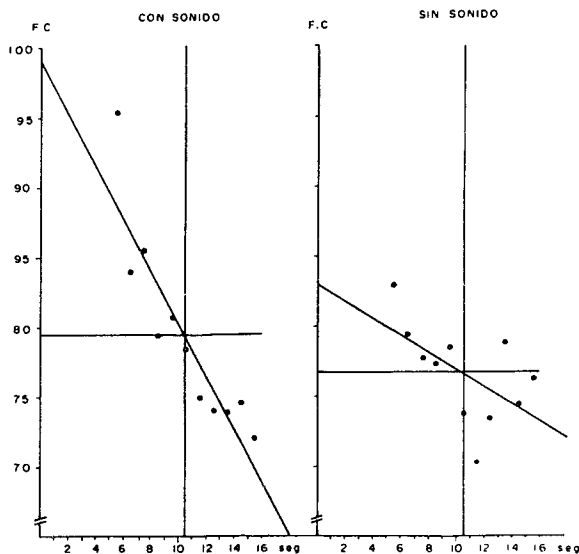


Figura 5. Curvas de regresión y valores reales de la relación frecuencia cardíaca (FC) y estimación de un intervalo de 10 seg. (abscisa). A la izquierda se grafica la situación en la cual el sujeto escucha, amplificados, los latidos de su propio corazón. A la derecha, en silencio.

Los dos sujetos más lentos de este grupo, es decir los que tuvieron un TR más largo en el periodo de aprendizaje, fueron los únicos en mostrar un delta cardíaco negativo: su corazón se desaceleraba durante la etapa de estimación. Otros, con una ejecución mediocre, perdieron el índice de correlación negativo, de a mayor frecuencia cardíaca menor magnitud del intervalo estimado. De hecho, en estos sujetos no fue significativa la correlación. También en ellos fue mucho mayor el número de fallas.

La pregunta que era necesario responder se refería

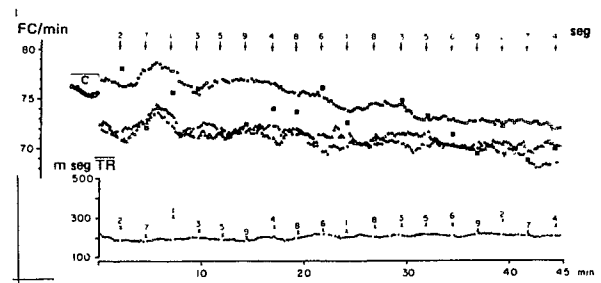


Figura 6. Evolución del tiempo de reacción (TR) y de la frecuencia cardíaca (FC) en los cinco sujetos más rápidos. La FC fue medida y promediada en medio del intervalo de 10 seg. (triángulos negros), en los segundos 9 y 10, justo antes del estímulo (cuadrados negros). Los cuadros blancos y las cruces corresponden a la FC y TR provocados por estímulos estocásticos cuyo tiempo de aplicación en los 10 seg. del intervalo está marcado por los números de la parte superior. Se observa que la FC después del estímulo es siempre mayor que las otras, pero esta diferencia se atenúa cuando TR comienza a deteriorarse. Asimismo la FC previa al estímulo se hace más lenta cuando comienza la habituación, disminuyendo la expectación. Las curvas fueron tratadas mediante promedio variable de base 10.

al por qué de estas diferencias entre los individuos. Para ello, con la colaboración de los investigadores Enrique Manaut, Alfonso Salgado, Sylvia Kornhauser y Fructuoso Ayala, emprendimos un análisis de la frecuencia cardíaca tomada en cuatro momentos diferentes de la situación experimental, a saber: a) en los segundos (3) que siguen inmediatamente al estímulo; b) en medio del intervalo (expectación disminuida); c) justo antes de la presentación del nuevo estímulo periódico, y d) durante los periodos de estimación del tiempo y producción del intervalo aprendido.

Este estudio nos enseñó que tanto en los sujetos con tiempo de reacción más breve (figura 6) como en los más lentos, puede apreciarse una disminución paulatina entre la diferencia pre y pos estímulo de la frecuencia cardíaca, a medida que avanza la prueba y se presenta un deterioro de la tarea de ejecución. Esta disminución de delta cardíaco fue más notoria en los sujetos más lentos (figura 7). Por lo tanto pudimos afirmar que tanto el TR como la ET fue más pobre en los sujetos a medida que su reactividad cardíaca era menor.

Vemos así como se acumulan las pruebas de que el tiempo subjetivo depende, en gran medida, de un estado general de activación del sistema nervioso que incluye a la división autónoma o vegetativa.

Permítasenos, en este momento, una divagación sobre el tiempo subjetivo y su integración. Es indudable que este proceso aprendido consume una gran cantidad de energía. El que calcula y prevé las duraciones tiene ritmos cerebrales rápidos, reflejos psicogalvánicos evidentes, taquicardia, etcétera. Afirmábamos que podemos vivir cuatro veces por lo menos nuestros acontecimientos. Al predecir, actuar, recordar y soñar en un contexto temporal correcto se aceleran, entre otras, las funciones cardiovasculares. La diferencia, en una sola hora, de latidos cardíacos, entre nuestros sujetos rápidos y exactos y los lentos y descuidados, era de más de mil latidos. ¿Cuántos no serán en una vida de pun-

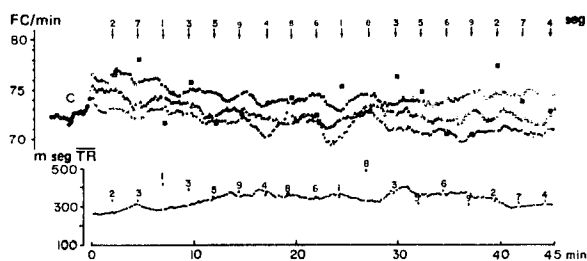


Figura 7. Evolución del tiempo de reacción (TR) y de la frecuencia cardíaca (FC) en los cinco sujetos más lentos. Todos los símbolos como en la figura 6. Se observa que al final de la prueba de bradicardia es notable. Disminuyen el delta cardíaco provocado por los estímulos y la expectación (desaceleración de la FC, caída de los círculos negros que marcan la FC justo antes del estímulo). La reactividad cardíaca y del TR a los estímulos estocásticos es también menor.

tualidad, ordenamiento correcto de las secuencias de la vida diaria y predicción temporal de los acontecimientos? Los expertos en la medicina llamada psicosomática percibieron pronto con claridad que sus pacientes provenían principalmente de individuos de este grupo.

Comentarios y conclusiones

La capacidad de experimentar el transcurso del tiempo es semejante a la capacidad de ver u oír; es, pues, una función sensorial, un sentido. Su desaparición en el adulto es más disruptiva que la ceguera o la sordera. Lo mismo que otras modalidades de percepción, es un proceso aprendido que se utiliza como un elemento importante en el control del comportamiento. La única diferencia con los sentidos clásicos es que no conocemos, por el momento, cuál sea su receptor.

De lo expuesto en este artículo podemos inferir las siguientes etapas en el establecimiento de esta función sensorio-temporal o tiempo subjetivo.

1) Procesos moleculares recurrentes, en los que intervienen enzimas con distintas velocidades de acción. Las más lentas fijan necesariamente la duración o período del ciclo, confiriendo al sistema una determinada constante μ (energías específicas de activación).

2) Partiendo de este material molecular, que intrínsecamente es oscilatorio, se organizan multitud de ritmos endógenos (RE). Estos ritmos endógenos biológicos pueden ser evidentes en el comportamiento animal, como sucede con el sueño y la vigilia, la actividad y el reposo, la marcha, el rascado, la respiración, el estro en las hembras, o los periodos de hibernación. Puede suceder que estos RE sólo sean detectables por instrumentación especial, como en el caso de los ritmos electroencefalográficos, la distribución de las fases del sueño o las secreciones circadianas de hormonas. Lo que nos interesa es el enorme rango de la duración de sus periodos (unos cuantos milisegundos para el ritmo *beta* cerebral, décimas de segundos en la frecuencia cardíaca y segundos en la respiratoria; minutos, como en la secuencia interna del sueño MOR; horas, como en la secreción cíclica del cortisol; días, en la gran variedad de RE circadianos; meses y aun años en otros cambios cíclicos). Es decir, si los vamos a considerar como *relojes biológicos*, surge la posibilidad de que los mamí-

feros tengamos distintos relojes para medir distintos tiempos.

Esta actividad cíclica es tan *sui generis* de los procesos biológicos que, incluso en catástrofes patológicas como la epilepsia, la encefalitis panesclerosante subaguda o la enfermedad de Parkinson, vemos surgir nuevas oscilaciones como expresión de la enfermedad. Hay epilepsias, como la generalizada con ausencias (breves, reversibles y fugaces pérdidas de conciencia) en las que el cerebro despliega una actividad eléctrica con ondas características a tres ciclos por segundo. Incluso en los ataques con convulsiones tónico-clónicas la corteza cerebral exhibe una gran ritmicidad, sobre todo en la fase clónica (que corresponde con sacudidas musculares intermitentes). En el tipo de encefalitis aludida se registran, sobre todo el cerebro, violentas espigas aisladas, que parecieran ser emitidas por un reloj, tal es a veces su marcada periodicidad. Los enfermos de parkinsonismo tiemblan y su temblor es extraordinariamente rítmico, a una frecuencia semejante a la de la banda theta del EEG (5 a 7 cps).

3) Interacción de estos ritmos endógenos (RE), esencialmente regulatorios, con señales externas (SE) que disparan mecanismos de control. Esta interacción debe suceder necesariamente en un estado de activación cerebral que corresponda con niveles de conciencia que vayan desde la atención concentrada a la somnolencia ligera. No tiene lugar durante el sueño de ondas lentas (fases 3 y 4), ni, desde luego, en el coma. Los RE también interactúan con señales endógenas (ideas, imágenes mentales, que delimitan a su vez duraciones, lo mismo que las SE). Este último caso puede ser que se presente durante la fase MOR del sueño, es decir, en el transcurso de las ensoñaciones. Es cierto que durante los sueños el tiempo, las duraciones, parecen muy difíciles de establecerse; sin embargo, sí podemos recordar la secuencia de los acontecimientos en un sueño (es como si al soñar pudiéramos realizar el primer nivel operacional que describe Piaget, pero no los restantes).

4) Integración de la capacidad de medir duraciones. Tiempo subjetivo. Concluimos que es éste un proceso aprendido, un mecanismo de control del comportamiento que es función del número y la calidad de interacciones previas entre RE y SE. Existen diferencias individuales notables, que dependen de la diferente velocidad de los ritmos endógenos o, tal vez, de que durante el desarrollo y el aprendizaje, diferentes cerebros utilicen distintos RE para "llenar" las duraciones, cuando éstas a su vez son de naturaleza disímil.

Es obvio que no existen "duraciones puras" en el sentido de Bergson o de Fraisse, por lo menos para el SNC en su totalidad. El sentido del tiempo tiene a su disposición una enorme gama de ritmos biológicos para llenar las duraciones delimitadas por señales externas o internas. El problema estriba en dilucidar cuáles son los ritmos que se emplean como osciladores en la medida del tiempo (pudiera darse el caso de que fueran varios) y qué porciones del cerebro (si están restringidas topográficamente) ejercen esta función. Hemos visto que este sentido del tiempo está estrechamente ligado —como las demás sensaciones— a los procesos de

atención y a la memoria. La atención y la reacción de orientación se han considerado funciones corticales desencadenadas por la acción del sistema reticular activador ascendente. La memoria, nos enseñan la neurología y la neuropsicología, necesita la integridad del hipocampo, del fórnix y de los tubérculos mamilares, que junto con el haz mamilotálámico y los núcleos intralaminares del tálamo forman parte del original "circuito de la emoción" descrito por Papez en los años 30.

En la actualidad se están acumulando datos de gran interés sobre un ritmo bastante localizado, el llamado *Theta* hipocámpico. Este ritmo está presente en la vigilia, desaparece durante el sueño de ondas lentas, cuando ya sabemos que se desvanece la sensopercepción, y reaparece con el despertar. También está presente durante el sueño MOR. Recientemente García-Austt y Buño (1980) demostraron en la rata que este ritmo se reinicia en isofase, con los estímulos aferentes al hipocampo, y que está en relación con la ejecución de mo-

vimientos. Proponen estos autores que este ritmo podría ser uno de los relojes biológicos, que tendría la propiedad de cambiar su frecuencia (acelerarse de 4 a 7 cps) cuando el movimiento fuera más preciso temporalmente y rápido. Aquí debemos recordar que el TR en el hombre tiene un tiempo de integración central que, en forma gruesa, corresponde con el período de este ritmo theta hipocámpico.

Finalmente, como sucede siempre que se trata de analizar la integración cerebral de los mecanismos de la conciencia, queda el problema mayúsculo de averiguar cómo la información que se transmite en la circuitería cerebral, que es de tipo discreto, digital, se transforma en magnitudes analógicas. Un simple tic-tac no nos sirve para medir el tiempo sino se acompaña de movimientos progresivos de unas manecillas o de números crecientes (sistemas analógicos). En algún lugar del cerebro debe acumularse y perdurar, como fenómeno plástico de memoria, la cantidad de oscilaciones que llenen las duraciones experimentadas.

REFERENCIAS

1. BREITWIESER J V: Attention and movement in reaction time, *Arch Psychol, N. Y.*, 2: 1-49, 1911.
2. CROZIER W J: The distribution of temperature characteristics for biological processes: Critical increments for heart rates, *J of Gen Physiol*, 9: 531-542, 1925.
3. DAVIES P C W: Space- time singularities in cosmology and black hole evaporations, *The study of time III*, J. T. Fraser, N. Lawrence y D. Park, ed., Springer Verlag, Nueva York, pp. 74-91, 1978.
4. FANJUL-MOLES M L: *Evolución de la actividad bioeléctrica cerebral en una situación de aprendizaje visomotor en el hombre*, tesis recepcional, Doc. Ciencias Fac. de Ciencias, UNAM, México, D.F., 1976.
5. FERNANDEZ-GUARDIOLA A, C MEJIA BEJARANO, E ROLDAN, D BERNAN: EEG and reaction time changes during intermittent sensory stimulation in humans, *Bol Estud Méd Biol (Méx.)*, 23: 101-142, 1965.
6. FERNANDEZ-GUARDIOLA A, A TORO, J AQUINO, E GUMA: Peripheral and central modulation of visual input during habituation, *Prog Brain Res* 22: 1-12, 1967.
7. FERNANDEZ-GUARDIOLA A, F AYALA, S KORNHAUSER: EEG, heart rate and reaction time in humans: Effect of variable vs. fixed interval repetitive stimuli, *Physiol and Behav*, 3: 231-240, 1968.
8. FERNANDEZ-GUARDIOLA A, A LERDO DE TEJADA, C CONTRERAS, A SALGADO, F AYALA: Polygraphic study in man to differentiate sleep inducing action of hypnotics, *Psychopharmacologia (Berl.)* 26: 285-295, 1972.
9. FRAISSE P: *The psychology of time*, Harper and Row, Nueva York, 1963.
10. FRANÇOIS M: Influence de la température interne sur notre appréciation du temps, *C. R. Soc Biol* 108: 201-203, 1928.
11. FRIES E F B: Temperature and frequency of heartbeat in cockroach, *J of Gen Physiol* 16: 227-235, 1926.
12. GARCIA AUSTT E, W BUÑO: Ritmos eléctricos del cerebro e integración sensorio-motriz, *El cerebro*, Editorial Labor, Barcelona, pp. 180-193, 1980.
13. GASTAUT H: Conclusion d'ensemble, *Conditionnement et réactivité en électroencephalographie*, H. Fischgold y H. Gastaut, ed., *Electroenceph Clin Neurophysiol*, Suppl. 6, Masson, París, pp. 321-338, 1957.
14. HOAGLAND H: The physiological control of judgment of duration: evidence for a chemical clock, *J of Gen Psych.*, 9: 267-272, 1933.
15. HOAGLAND H: Consciousness and the chemistry of time, *Problems of consciousness*, H. A. Abramson y Josiah Macy Jr., ed., Foundation Conference, Nueva York, pp. 164-165, 1951.
16. MORRELL L T MORRELL: Non random oscillation in the response duration curve of electrographic activation, *Electroenceph Clin Neurophysiol.*, 14: 724-730, 1962.
17. MOWRER O H: Preparatory set (expectancy). Some methods of measurement, *Psychol Monographs*, 52: 1-43, 1940.
18. PAVLOV I P: *Conditioned reflexes, and investigation of the physiological activity of the cerebral cortex*, Oxford University Press, Londres, 1927.
19. PIAGET J: *Les notions de mouvement et la vitesse chez l'enfant*, Presses Univ. de France, París, 1946.
20. PIAGET J: Time perception in children, *The voices of time*, J. T. Fraser, ed., G. Braziller, Inc., Nueva York, 1966.
21. SMITH H C, S BOGORSKY: The relationship between physique and simple reaction time, *Character and Pers.*, 12: 46-53, 1943.
22. STEIMAN A R: Reaction time to change, *Arch Psychol N. Y.*, 41: 292-299, 1944.