



DE LA TEORÍA DEL CICLO DE LA IMAGEN MENTAL DE G. SIMONDON A CONSIDERAR EL ENVEJECIMIENTO COMO PÉRDIDA DE COMPLEJIDAD

MIRALLES, Mónica Teresita; GHERSI, Ignacio; CASTRO-ARENAS, Cristhian

mmiralles@gmail.com; igghersi@gmail.com;

ccastroarenas@gmail.com

Centro de Investigación en Diseño Industrial de Productos Complejos (CIDI), Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires.

Centro Laboratorio de Morfología, Instituto de la Espacialidad Humana (IEH), Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires.

Laboratorio de Biomecánica e Ingeniería para la Salud (LaBIS), Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, Pontificia Universidad Católica Argentina.

Resumen

G. Simondon presenta en su curso *Imagination et Invention (1965-1966)* la teoría del ciclo de la imagen mental. Ésta alude a los subconjuntos estructurales y funcionales de la actividad psíquica organizada con un dinamismo análogo al de un órgano o sistema de órganos en crecimiento. De este modo las imágenes mentales son cuasi-organismos habitando en el sujeto.

El resultado final del ciclo es la producción objetual, el “objeto-imagen” que puede ser un intangible (idea, teoría, etc.), o bien, un producto con materialidad (un diseño industrial, una obra de arte, un proceso), que conforma un tercer tipo de realidad entre el sujeto y el objeto. La primera fase del ciclo se correlaciona con la embrionaria biológica (crecimiento puro y espontáneo). Cada



imagen será el embrión de una futura actividad perceptiva-motriz más compleja. Dentro de esta fase, Simondon menciona específicamente al esquema corporal humano definido como la representación instantánea de los segmentos corporales en el espacio. Las restantes etapas del ciclo son la perceptivo-motora y la simbólica. La invención corresponde a un salto dimensional de la última fase mencionada.

Dado que nuestro campo de investigación es el adulto mayor –y, en particular, adultos con riesgo de caída–, considerar, como lo hace Simondon, que tanto el organismo como el medio son ambas fuentes de novedad y azar, nos lleva a interrogarnos en la relación entre lo planteado por este autor y la imagen según la cual el envejecimiento se puede definir como una pérdida progresiva de la complejidad de todos los sistemas fisiológicos. La presencia de señales espontáneas, primarias, innatas, integradas al sistema nervioso central ¿siguen presentes?, ¿son fuente de innovación motriz y adaptación en el adulto mayor? En este trabajo se discute cómo la imagen del estabilograma, considerada como una herramienta analítica, fue acompañando el cambio en la comprensión de la naturaleza de los sistemas fisiológicos. En particular, la imagen del control motor del sistema de balance humano, para explicar la inestabilidad del adulto mayor.

Se presentan imágenes obtenidas a partir del estabilograma de un adulto mayor, procesadas por el grupo de investigación, para mostrar las diferentes perspectivas (biomecánica, neurofisiológica y aquella asociada con modelos de dinámicas no lineales) que han atravesado el gesto más elemental del hombre: el permanecer parado de pie. Se discuten en este recorrido las intuiciones contenidas en el ciclo de la imagen de G. Simondon.



Palabras clave

Imágenes técnicas, Ciclo de la imagen, Envejecimiento, Simondon, Sistema no lineal

El ciclo de las imágenes de G. Simondon

G. Simondon (1924-1989) presenta la teoría del ciclo de la imagen mental en su curso *Imagination et invention* dictado entre 1965-1966, tardíamente publicado en Francia (Simondon, 2008) y, mucho más tarde, difundido al exterior (Simondon, 2013).

Dicho ciclo es tomado en este trabajo, no para ser discutido a la luz de los conocimientos aportados por las múltiples ramas de las ciencias con las cuales se interseca, sino como un posible recurso heurístico, para repensar aspectos de la producción objetual y, en particular, aquellos asociada con el campo del control motor, y dentro de éste, el deterioro del balance y el consecuente aumento del riesgo de caída en el adulto mayor.

El ciclo de la imagen es concebido como un proceso de génesis –en estricto sentido biológico– por el que pasan las imágenes mentales, integrado dentro de una actividad mental más vasta.

En toda la obra emerge un pensamiento físico íntimamente imbricado al pensamiento biológico, producto de su formación y docencia en ambas disciplinas.

El resultado final del ciclo es la producción objetual (entendida en sentido amplio): el objeto-imagen, un tercer tipo de realidad entre el sujeto y el objeto.

El ciclo completo consta de tres fases que dan lugar a un salto de dimensión en el que tiene lugar la invención y el comienzo de un nuevo ciclo.

La imagen mental, la cual surge del paralelismo entre el desarrollo orgánico y la ontogénesis del comportamiento humano, alude a los subconjuntos estructurales y funcionales de la actividad psíquica organizada, con un dinamismo análogo al de un órgano o sistema de órganos en crecimiento.

La primera fase se correlaciona con la embrionaria (crecimiento puro y espontáneo), cada imagen es el embrión de una actividad motriz-perceptiva, sin correlación con los demás subconjuntos. El organismo, en esta fase, tiene presentes objetos desconocidos a catalogar.

Progresivamente, estos objetos dan lugar a respuestas a las estimulaciones del medio (aprendizaje). Se tornan funcionales y se estabilizan en agrupamientos correlacionados (con interdependencias), según las interacciones con el medio.



La repercusión afectiva-emotiva las va ligando y reuniendo en dominios, a través de los cuales el sujeto tiene un *análogo del mundo exterior*, con su idiosincrática topología, modos de acceso, etc.

La invención representa un cambio de organización del sistema de imágenes adultas, que vuelve a liberarlas para recomenzar una nueva génesis.

Como puede verse la primera etapa no tiene objeto externo al que dirigir la acción. La segunda etapa se construye mediante una fuerte interacción con los objetos y, la tercera –gracias a la capacidad de recordar–, se abstrae del objeto y permite, durante la fase de invención, interactuar con el objeto producido.

De este modo las imágenes mentales son un cuasi-organismo habitando en el sujeto. Se van desarrollando en él con cierta independencia (ya que son mayoritariamente inconscientes, o bien, pueden ser externas al sujeto imaginante (Simondon acepta la exterioridad primitiva de la imagen, es decir, el mundo de lo “numinoso”).

Desde el pensamiento físico, las imágenes están en interrelación unas con las otras, dando lugar a estados de equilibrio dinámico, gracias a la presencia de reductores (sensaciones, recuerdos, juicios, etc.) que rectifican la ilusión que acompaña a la imagen. Sin estos condicionantes, las imágenes pueden pasar a ser alucinaciones.

La etapa de la invención requiere alcanzar el estado de saturación de la tercera fase, es decir, lograr la puesta en funcionamiento de un sistema dimensional más potente, capaz de integrar más imágenes completas según el modo de compatibilidad sinérgica (concepto no definido explícitamente en su curso).

Simondon y el esquema corporal

El esquema corporal es un tema abordado –en forma explícita– por Simondon. Lo define, en el marco referido al contenido motor de las imágenes, es decir, a la primera fase del ciclo, en la cual la imagen es anterior a la experiencia del objeto, como “la representación que cada uno hace de su cuerpo, y que sirve de referencia en el espacio” (Simondon, 2013: 49-51).

El esquema corporal es un concepto muy antiguo y muy ambiguo dentro de la literatura del movimiento, ya que aparece referido a la posición relativa de un segmento corporal respecto a otro, de un segmento respecto al cuerpo entero, de un segmento o del cuerpo respecto a un sistema de coordenadas local o externo, que pueden estar, a su vez, en reposo respecto a un sistema inercial fijo, o bien, en movimiento relativo con respecto a este.

Dentro del esquema corporal, la postura vertical es la que nos interesa abordar en este trabajo ya que, la comprensión de aspectos de su variabilidad puede permitir predecir el riesgo de caídas en adultos mayores.



Las tres perspectivas sobre el control postural

El recorrido de las imágenes para entender la postura humana parte de tres perspectivas que se fueron entrelazando en el tiempo: la biomecánica, la neurofisiológica y aquella de los sistemas dinámicos no lineales.

La perspectiva biomecánica tiene sus raíces en la mecánica del cuerpo rígido clásica y las leyes del movimiento newtonianas. Los músculos son equiparados con torques motores y las extremidades corporales con palancas. Los músculos son capaces de ejercer tensiones entre los puntos de fijación articular, responsables de los torques motores (que depende de la inercia de los segmentos y de la aceleración angular de los mismos), siendo su efecto final de naturaleza mecánica, es decir, pueden generar, detener o sostener un movimiento, gracias al equilibrio de fuerzas opuestas (Winter, 1978, 1983). A partir del conocimiento de las características antropométricas del cuerpo y la cinemática del movimiento (es decir, de la historia de la posición en el tiempo de las articulaciones y segmentos) se pueden derivar las velocidades y aceleraciones y calcular, luego, las fuerzas musculares. Este procedimiento es estándar y se conoce en la práctica biomecánica como *dinámica inversa*.

Estas técnicas continúan jugando un importante rol en la investigación del rendimiento locomotor, aportando comprensión de la función de los músculos en la generación y control del movimiento, en el rol de fuerzas pasivas, como la gravedad o en la interacción mecánica con el medio externo (fuerzas de reacción).

La segunda perspectiva parte de los trabajos de Sir Charles Scott Serrington (1898, 1910) quien, luego de numerosos experimentos de tipo estímulo - respuesta, va a poner en evidencia la relación entre reflejos (vestibulares, espinales, oculares) con el sistema nervioso central (SNC) y, de este modo, explicar mediante la modulación de las vías de entrada sensoriales, aspectos de la postura y la locomoción (hipótesis del encadenamiento reflejo).

Experimentos relacionados con la anulación de las entradas sensoriales mostraron que esta hipótesis no era suficiente (Taub, 1976) y se fue fortaleciendo la hipótesis de un generador central de patrones de los movimientos rítmicos para la locomoción (Van de Crommert et al. 1998), o bien, de un generador de funciones, para el control postural, que no dependiera de las acciones periféricas (Delcomyn, 1980 y Saltzman & Kelso, 1985).

Pronto nuevos experimentos pusieron de relieve que ésta también era una visión limitada del proceso de generación de patrones (Pearson, 1987). Era necesario combinar observaciones que tuvieran en cuenta la acción de circuitos neurales, junto con la influencia moduladora de las entradas sensoriales.



Pero ¿cómo el SNC trabaja con las restricciones mecánicas del sistema neuromotor y los impactos del entorno externo? Era la pregunta que quedaba abierta. Fue Bernstein (en Whiting, 1984), quien expresó esta complementariedad desde la teoría de control y su aplicación al movimiento humano (Haken, 1983) y, desde entonces, se comenzó a hablar de generador de patrones dinámicos (Schoner et al., 1988).

El comportamiento en forma de patrones crece a partir de la interacción entre fuentes de entradas centrales y periféricas, como también de la dinámica del contexto, donde los detalles espacio temporales del movimiento no pueden ser anticipados, planificados o adelantados (Kugler, Kelso & Turvey, 1980).

El principal responsable del orden de los procesos biológicos (tendencia al equilibrio o a permanecer en estados estacionarios) es el libre juego de la interacción de fuerzas y de las influencias mutuas entre los componentes del sistema. El sistema motor nunca opera independientemente del entorno físico y los músculos nunca actúan en un contexto aislado. Dada esta interdependencia, sin embargo, queda la pregunta de la *coordinación*. ¿De qué manera, los muchos grados de libertad que constituyen el sistema motor humano y el contexto, son dirigidos a una tarea específica?

Aquellos que se focalizaban en la perspectiva neurofisiológica buscaron -y buscan- la respuesta en la descripción de circuitos de realimentación sensorial, según cada forma de comportamiento bajo estudio. El nombre *sinergia postural* ha sido utilizado para describir estas uniones (Nashner & Woollacott, 1979).

La generación de patrones dinámicos, como perspectiva alternativa, profundiza en el entendimiento de los grados de libertad y no en la forma del cableado de los circuitos neurales, sino más bien destaca la tendencia natural de los sistemas físicos a buscar su estabilidad, a moverse hacia estados de equilibrio. Esta tendencia natural es conducida por las leyes de la termodinámica no lineal. Los patrones temporales, desde las perspectivas dinámicas, son representativos de las soluciones alcanzadas por el sistema.

¿Cómo ocurren las transiciones y la emergencia en el sistema de un nuevo comportamiento? Es, desde esta perspectiva, el problema fundamental que precipita a la búsqueda de los principios organizacionales, de la coordinación de elementos de los subsistemas y de los factores que conducen a la inestabilidad y a la emergencia de nuevas formas estables. Entender la generación del comportamiento cooperativo como una función de interacciones entre fuentes de información –centrales y periféricas– y el entorno externo, es el desafío actual.

El concepto de postura vertical (en inglés *standing posture*), está directamente relacionado con la habilidad que tiene un sujeto para no caer por acción del



campo gravitatorio, y es inseparable del concepto de configuración de referencia y del de estabilidad local.

El primero refiere a la distribución angular segmentaria en el espacio, mientras que el segundo alude a un estado corporal mantenido dentro de cierto margen de error, durante un tiempo definido, en el que ocurren pequeñas perturbaciones debidas a la espontánea variabilidad de los estados corporales internos (incluyendo activación muscular y variaciones en las fuerzas internas y externas).

En cambio, la estabilidad es un concepto moderno, asociado a la teoría de control, que refiere a la capacidad de un cuerpo de volver a la posición de equilibrio cuando es apartado de la misma.

Simondon considera que los movimientos son irradiados a partir del sistema de acción integrado por datos sensoriales externos y propioceptivos, desde el organismo completo. Cualquier imagen motriz, individual u objetual, remite siempre a su imagen analógica contenida, en forma completa, en el repertorio exhaustivo y organizado de las intuiciones motrices. Esta afirmación es acorde a la postura neurofisiológica.

La hipótesis del dinamismo genético de la imagen de Simondon, refiere a que, en cada etapa del ciclo, el sujeto, en su interacción con las señales incidentes del medio, se vuelve un generador de señales endógenas específicas, que le permiten realizar acciones progresivas, de creciente complejidad. El organismo y el medio son considerados fuentes de novedad y azar simultáneas.

Esta afirmación anticipa la discusión, ya presentada, de la necesidad de articular la perspectiva biomecánica con la neurofisiológica, pero introduce también en el pensamiento propio de los conceptos de la teoría de control.

Fue un contemporáneo de Simondon quien, en los años '60, introdujo la hipótesis del punto de equilibrio (Feldman, 1966). La misma, considera a la postura y al movimiento, como consecuencias periféricas diferentes de un proceso neurofisiológico único. Es decir, que los estados de equilibrio corporal en el entorno son controlados por señales neurofisiológicas que, definen a su vez, parámetros de reflejos musculares cuyos valores regulan los mecanismos de estabilización postural y permiten las posiciones y configuraciones corporales.

Una de las hipótesis actuales es que el sistema vestibular participa de la creación de esquemas de referencia dentro de los cuales están presentes las señales sensoriales de otras modalidades (visión y somatosensación).

El proceso neural, asociado con una acción voluntaria, usa los mecanismos estabilizadores para producir el movimiento y estabilizar la nueva postura. Las tareas posturales, incluyendo aquella de estar parado en un campo gravitatorio,



son parte de un particular subgrupo de tareas motoras controladas por configuraciones corporales de referencia, específicas.

Nicolás Bernstein, (1896-1967), visualizó la postura como una componente necesaria para cualquier acción motora voluntaria en el entorno. En su esquema multiniveles para la construcción del movimiento, la actividad postural está en el nivel más bajo (el nivel A que corresponde al del tono muscular).

Bernstein asoció la actividad postural al concepto de “estabilidad”, clave para comprender el movimiento y la evolución del SNC. En su obra *On Dexterity and its development* (Whiting, 1984), publicada en 1999 –más de 30 años posterior al curso de Siomondon–, sugirió que los vertebrados requieren de la actividad muscular consciente para mantener el cuerpo estable en el campo gravitatorio. Esta aproximación significó una carga sobre el SNC que estimuló su desarrollo en el proceso de la evolución. Es decir, según este autor, la estabilidad postural fue el factor más importante para la emergencia de un SNC complejo, típico de los vertebrados.

Imágenes de la oscilación postural: variabilidad y estabilidad

Una persona sana nunca permanece quieta mientras está parada en posición vertical.

El estudio de las oscilaciones posturales y la forma de medirlas tiene una larga historia. Sheldon en 1963, con un dispositivo artesanal, va a mostrar que las mismas acompañan todo el proceso evolutivo humano, observando que, a partir de los 50 años, las desviaciones aumentan progresivamente su amplitud.

La dinámica de las oscilaciones se puede cuantificar a partir de la trayectoria bidimensional del Centro de Masa Corporal (CM), o, del Centro de Presiones (CP). Esta última trayectoria da origen a los llamados estabilogramas y a los estatocinesiogramas. Estos últimos corresponden al seguimiento temporal de las coordenadas de la fuerza vertical resultante (reacción a la fuerza peso) de un sujeto parado sobre una balanza estabilométrica.

La medición del CM requiere equipamiento costoso y no es fácil de medir. La Figura 1 presenta, en la parte superior derecha, la vista transversal de un sujeto de 70 años (denominado en este trabajo “sujeto A”) parado en posición vertical, con un sistema de referencia local ubicado en el centro de masa (CM). A la izquierda, el estabilograma muestra la trayectoria horizontal del CP. Los ejes de referencia son el anteroposterior (AP) y el medio lateral (ML). El CP del sujeto, en posición ortostática (de pie, con los brazos caídos a los costados) y durante un tiempo de 60s va describiendo una trayectoria que depende de si el sujeto tiene: a) los ojos abiertos (OA), b) los ojos cerrados (OC), o bien, c) si tiene almohadones en la base de sustentación. Es decir, se presentan cuatro situaciones posibles de evaluación. También se pueden evaluar las situaciones



anteriores según la posición de los pies (que determinan el área de sustentación formada por el área de las huellas plantares y la superficie estimada que queda entre ellas) con pies paralelos, con los talones juntos y abiertos un cierto ángulo, un pie delante del otro, diferentes calzados, etc.). En el caso de la Figura 1 el sujeto A -con pies juntos y ojos cerrados-, fue medido con una plataforma de fuerza de 200 kgf de capacidad, diseñada por el grupo (Gherzi, 2017).

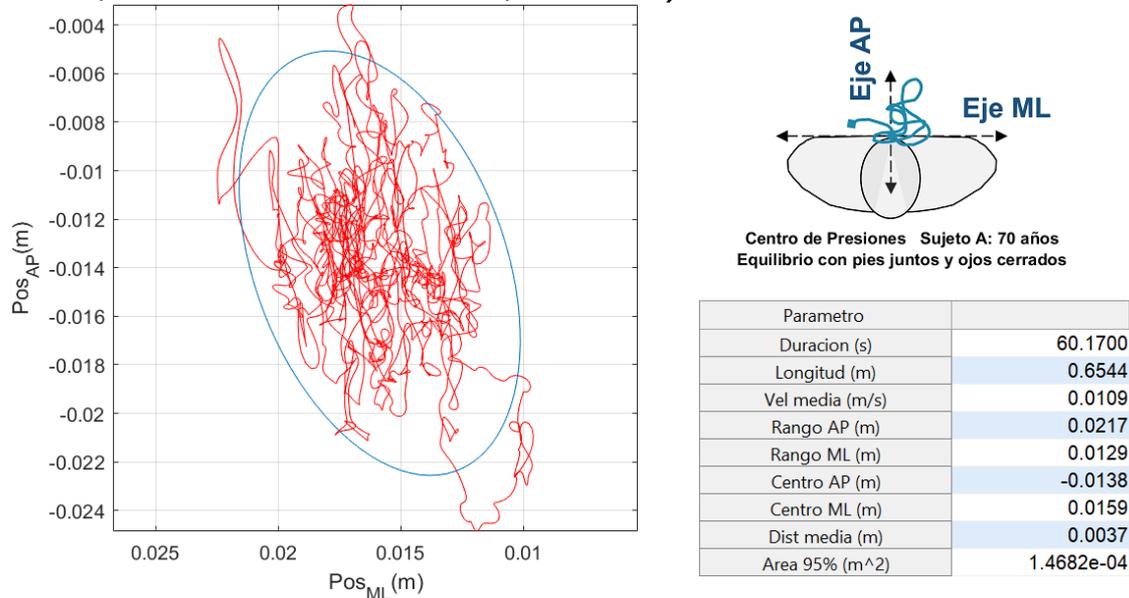
Una primera cuantificación se puede obtener a partir de la imagen de los estabilogramas, definiendo parámetros básicos a saber:

- a) el área ocupada por la trayectoria del CP, la cual es generalmente determinada a partir de la elipse que encierra el 95% de la misma, cuyas diagonales, darán cuenta de la amplitud (rango) del desplazamiento anteroposterior (AP) y del mediolateral (ML). El cociente entre las áreas con OA y con OC determina el índice global de Romberg;
- b) la longitud de la trayectoria,
- c) la velocidad media (cociente entre la longitud de la trayectoria y el tiempo transcurrido en describirla),
- d) la distancia media de los puntos al centro.

El valor de todos estos parámetros para el sujeto A, se encuentran en la tabla adjunta, a la derecha y abajo, en la Figura 1.



Figura 1: Parámetros clásicos para el análisis del balance estático del sujeto A (pies juntos y ojos cerrados): Longitud recorrida, Velocidad media, Distancia media al centro, Área 95%



Fuente: Imagen producida por el LaBIS (Laboratorio de Biomecánica e Ingeniería para la Salud).

Estas modalidades se deben a la importancia de la visión, del sistema vestibular y del somatosensorial para el control de la postura.

En los años 60, la importancia de la visión, del sistema vestibular y del somatosensorial para el control de la postura estaban bien establecidos a partir de observaciones de pacientes con una gran variedad de desórdenes motores y sensoriales (Paulus, 1987). La pérdida de la postura vertical (o pérdida de equilibrio) siempre se relacionó con el SNC. Ello se debe a la incapacidad de estar parado durante un ataque epiléptico, o bien, cuando se pierde la conciencia.

En los años '20, los casos de *tabes dorsalis* (producidos por la sífilis), al igual que aquellos pacientes con diabetes avanzada o neuropatías periféricas en fibras largas, solo podían mantener la postura vertical si tenían los ojos abiertos. Ello puso en evidencia la disrupción de la transmisión sensorial debida a la degeneración de los nervios de los cordones dorsales posteriores de la médula espinal, responsables de la propiocepción, vibración y tacto.

La importancia de la visión se ejemplifica por el hecho de que, aún en una persona sana, permanecer parada erecta con los ojos cerrados durante un periodo prolongado se vuelve un desafío y, más, si se encuentra sobre una



superficie blanda. Sin embargo, también es evidente que, el control del equilibrio en personas ciegas es compensado por otras modalidades sensoriales, hecho acorde con la necesidad de avanzar sobre las ideas de Serrington (1898,1910).

El rol del sistema vestibular en el control postural es menos obvio. Las señales desde el sistema vestibular informan al SNC sobre la posición y movimiento de la cabeza en el espacio, que puede ser o no relevante, para la tarea de permanecer quietos. Una persona saludable puede realizar rápidos movimiento de cabeza sin perder el balance. Sin embargo, los desórdenes vestibulares comúnmente conducen a problemas posturales y a la incapacidad de mantener la postura vertical. Una de las hipótesis es que el sistema vestibular participa de la creación de esquemas de referencia dentro de los cuales las señales sensoriales de otras modalidades, tales como la visión y la somatosensación, están evaluados con respecto a la tarea de mantener la postura vertical.

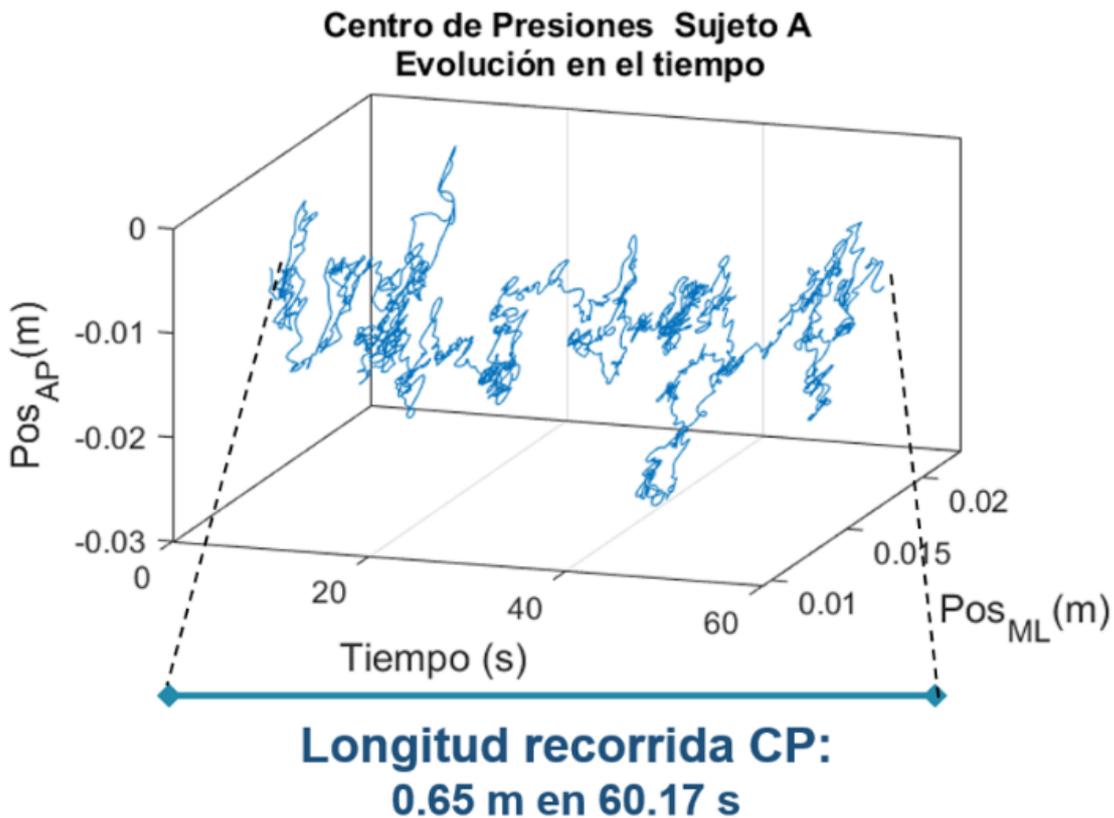
La mirada desde las series temporales

La obtención de series temporales a partir de la proyección del establograma, a lo largo del eje AP o ML en función del tiempo, ha mostrado que el CP es un buen estimador del CM (Latash, 2016: 311), pero también permiten utilizar herramientas propias del procesamiento de señales, para su análisis.

La Figura 2 presenta la señal temporal ML vs. t, del establograma mostrado en la Figura 1.



Figura 2: Evolución en el tiempo de las señales de Centro de Presiones AP y ML. Sujeto A. Equilibrio estático con pies juntos y ojos cerrados. Relación con parámetros clásicos



Fuente: Imagen producida por el LaBIS (Laboratorio de Biomecánica e Ingeniería para la Salud).

El análisis de respuesta en frecuencia permite obtener una mirada global sobre las características de las oscilaciones involucradas en el proceso de sostenimiento de la postura vertical.

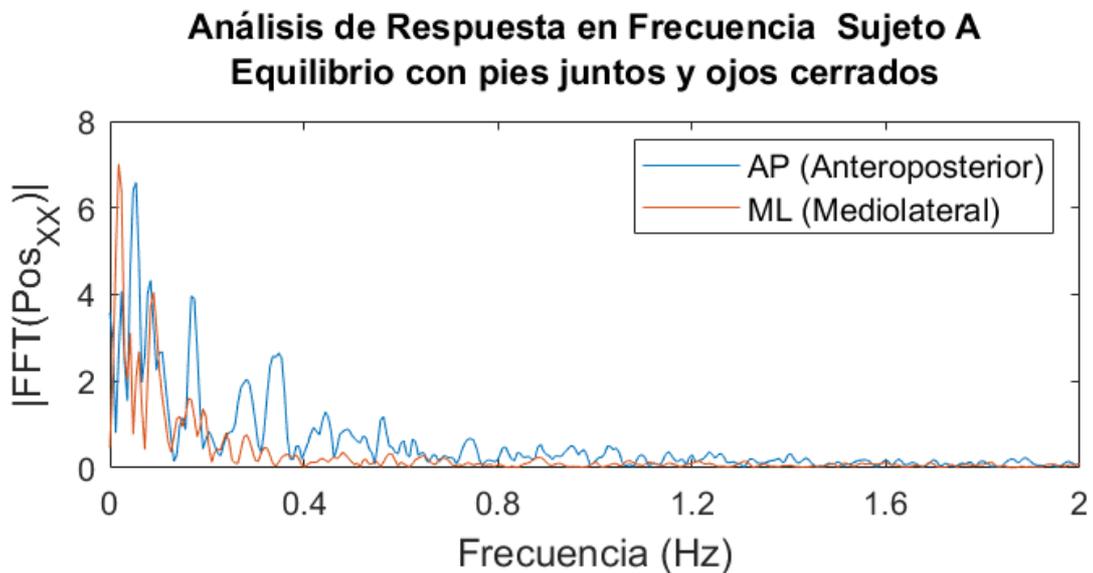
La Figura 3 muestra el análisis de frecuencias de Fourier del caso considerado (sujeto A). Se ha postulado que componentes de frecuencia en diferentes rangos pueden ser atribuidas al aporte visual-vestibular (0 Hz a 0,02 Hz), al cerebelar (0,02 Hz a 2,00 Hz) y al propioceptivo (> 2,00 Hz), respectivamente (Paillard, 2015). Como puede verse en la Figura 3, en las oscilaciones del adulto mayor (sujeto A), las mayores amplitudes se encuentran a la derecha del gráfico, reduciendo su amplitud rápidamente antes de alcanzar 0.8 Hz.



La mirada desde la teoría de los sistemas dinámicos

El fracaso de la estadística clásica en el sentido de no poder diferenciar con los parámetros clásicos (media y desviación estándar), dinámicas diferentes en series temporales similares, llevó a la necesidad de postular nuevos conceptos para poder poner en evidencia cambios en la complejidad.

Figura 3: Análisis de respuesta en frecuencia de las señales AP y ML del CP del sujeto A



Fuente: Imagen producida por el LaBIS (Laboratorio de Biomecánica e Ingeniería para la Salud).

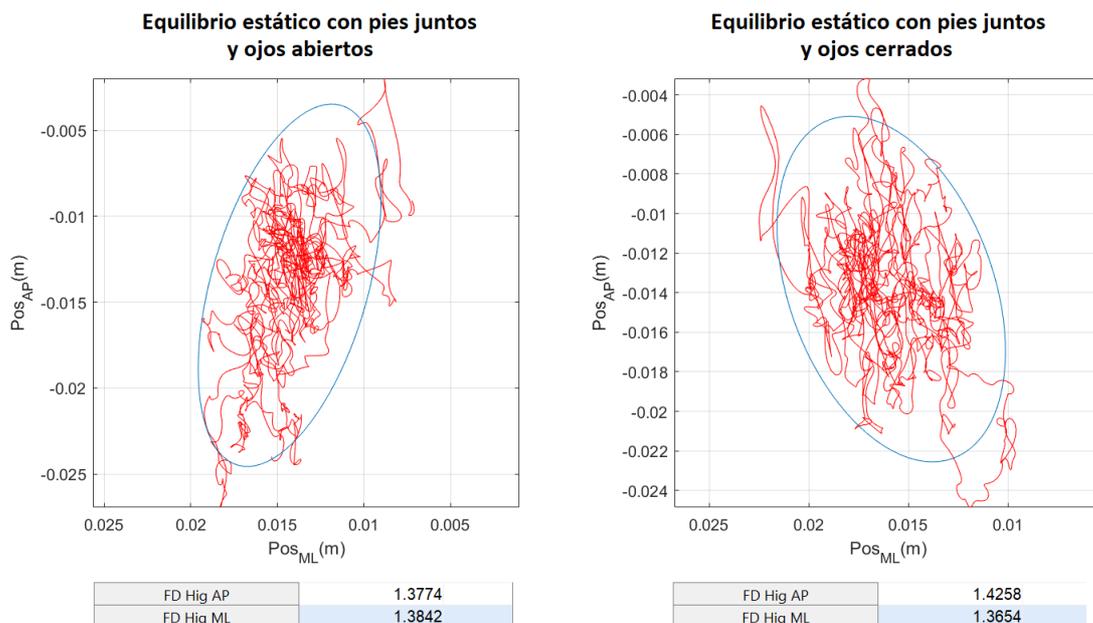
La mirada desde el campo de los sistemas complejos se centra en la regularidad y la predictibilidad. El problema está en asociar los cambios de las oscilaciones con posibles cambios en las estructuras anatómicas y en los procesos fisiológicos. Así comenzaron a describirse anatomías que presentaban estructuras fractales (patrones geométricos autosimilares en un rango definido de escalas, cuantificables por la dimensión fractal fraccionaria) y fisiologías “caóticas”, es decir, con comportamientos impredecibles que pueden originarse en ciclos de retroalimentación interna en los sistemas no lineales y, en ese caso, producir fluctuaciones que no tienen una única escala de tiempo, sino que producen una señal de ruido que varía en forma errática e impredecible. La salida de sistemas fisiológicos (por ej. vasculares, nerviosos) - que se asumían periódicos- hoy se sabe que responden a un comportamiento caótico.



En los sistemas caóticos el espectro de frecuencias es bastante amplio. Abarca desde bajas a altas frecuencias. En general, cuanto más complejas son las señales, más ancho es el patrón de frecuencias. Precisamente la pérdida de complejidad se manifiesta en el estrechamiento del rango de frecuencias.

En los procesos biológicos, la pérdida de complejidad se manifiesta en la pérdida de altas frecuencias y el correspondiente aumento en la contribución relativa de las bajas. Un ejemplo, bien conocida es la pérdida de la respuesta a altas frecuencias auditivas con la edad.

Figura 4: Dimensión fractal (FD) de señales del Centro de Presiones del sujeto A. Izquierda: equilibrio con pies juntos y ojos abiertos. Derecha: equilibrio con pies juntos y ojos cerrados. Cambios en los valores de la dimensión fractal (algoritmo de Higuchi) pueden indicar un cambio en las estrategias de control dispuestas para mantener el equilibrio estable



Fuente: Imagen producida por el LaBIS (Laboratorio de Biomecánica e Ingeniería para la Salud).

Un método para medir la complejidad de un proceso usa el concepto de dimensión de un sistema no lineal. Y está relacionado con el número de variables dinámicas necesarias para producir la misma salida. Cuanto más alta es la dimensión, mayor es el número de variables y más alta la complejidad (un



proceso estrictamente periódico tiene dimensión unitaria, ya que se requiere una sola variable).

La idea de pensar en caracterizar dimensiones del envejecimiento humano desde la mirada de los sistemas no lineales se remonta a los años 90 (Lipszitz, 1992). Se parte de la hipótesis que el envejecimiento está asociado con la pérdida progresiva de la complejidad de todos los sistemas fisiológicos. Dicha pérdida es consecuencia del deterioro de componentes funcionales, o bien, del acoplamiento inadecuado entre estos componentes.

La Figura 4 muestra los estabilogramas a partir de los cuales se calculó la dimensión fractal (FD) del mismo adulto mayor (sujeto A), con OA (izquierda) y con OC (derecha). Los valores fueron 1.3 para OA y cercano a 1.4 para OC, mostrando la mayor trayectoria fractal en el segundo caso.

Discusión y conclusiones

Como se ha presentado en este trabajo, la imagen del estabilograma ha sido y sigue siendo la herramienta analítica de partida para cuantificar la estabilidad humana y caracterizar la variabilidad postural. La misma ha sido común a las tres perspectivas ligadas al estudio postural desde los años 60. Ello se debe a que las oscilaciones en posición ortostática son un valioso indicador para explicar la calidad y las características de regulación de la postura humana.

Los estabilogramas se utilizan para analizar la variabilidad y predecir el riesgo de caídas, pero también en la identificación de escoliosis idiopáticas, en el estudio de estrategias posturales en atletas y no atletas, para analizar el efecto de tareas duales, el miedo a las caídas en adultos mayores, o bien, como indicador de eficiencia para procedimientos de rehabilitación.

Desde el ciclo de las imágenes de Simondon, el estabilograma es en sí mismo, una imagen-objeto. Casi medio siglo después se encuentra que muchas de sus intuiciones han sido anticipatorias de aquellas asociadas a modelos recientes del campo del control motor y, en particular, de la postura vertical humana, aparecidas a partir de la década de los noventa.

La relectura del ciclo no tiene que ver con utilizar conceptos y medios viejos para entender lo nuevo (la “sociedad del espejo retrovisor” de McLuhan, (1967)), sino como una guía heurística que invita a explorar los rasgos distintivos de toda imagen-objeto que, según Simondon, son los de:

- a) portar una carga de invención que es redescubierta,
- b) estar ligadas a la red de realidades contemporáneas del inventor,
- c) permitir conocer otras realidades conexas con las que se articula y con las cuales es solidaria.



En este caso, las realidades conexas son las que se están explorando y representan uno de los más grandes desafíos científicos ya que, la adquisición de la bipedestación, al igual que el lenguaje y la marcha bípeda, son propias y únicas del proceso de hominización (Gagey, (2001): 15).

El hecho de que el área de oscilación se incrementa en poblaciones con problema posturales, como en adultos mayores saludables, personas con desarrollo atípico o en pacientes con desórdenes de movimiento, llevó a considerar la oscilación como una consecuencia del ruido dentro del sistema neuromotor, un signo de imperfección en el diseño del cuerpo humano que requiere sofisticado control neural para mantener las oscilaciones lentas y evitar la pérdida del balance.

En los 90, las teorías de control tuvieron particular impacto en la interpretación de las oscilaciones posturales. La primera imagen fue asociar la oscilación corporal alrededor de la articulación del tobillo, con la oscilación homóloga de un péndulo invertido. El modelo se fue complejizando con la inclusión de varios lazos actuando en paralelo, conducidos por señales sensoriales de diferentes modalidades, con diferentes desfases temporales y ganancias ajustables.

Por aquellos años, Collins (1993) exploró la utilización de técnicas matemáticas desde la mecánica estadística, asumiendo que la postura erecta puede ser un proceso estadístico, generando los estabilogramas de difusión (desplazamientos cuadráticos medios vs. intervalo temporal), encontrando gran variabilidad y aleatoriedad intrasujeto y significativas diferencias entre sujetos de una misma población rigurosamente elegida. Las trayectorias pueden ser modeladas con un movimiento browniano fraccional y con la suposición de la actuación de dos mecanismos de control simultáneos. Un esquema de control a lazo abierto, para intervalos cortos de tiempo y otro, de lazo cerrado, para intervalos largos de tiempo.

Pero, la mirada actual considera que la postura es el reflejo de un diseño intencional del sistema neurofisiológico. Algunas observaciones (por ej. personas con Parkinson avanzado), presentan-y es sorprendente-una amplitud de las oscilaciones muy reducida. Esto sugiere que oscilar puede ser un proceso útil, posiblemente relacionado a la exploración de las condiciones de estabilidad (Mochizuki, 2006). Nuevamente, estas afirmaciones recuerdan a la teorización de la fase inicial del ciclo de Simondon.

Al utilizar métodos desde la mirada no lineal (fractales y caos) y aplicar un tratamiento matemático conocido como Depended Flutuation Anlaysia (FsFA) se estableció que la variabilidad se asocia con los diferentes rangos de frecuencias (Gilfriche, 2018) y pudieron diferenciar la presencia de lazos de control cortos (propioceptivos) y de lazos de control largos (visuo-vestibulares), en el control neural postural.



Es decir, la introducción de la métrica fractal puso en evidencia las dos escalas presentes en el fenómeno, una corta y otra larga.

El análisis sugiere que al menos dos escalas temporales contribuyen al control postural: un control basado en la velocidad (cortas escalas de tiempo), subyace sobre los sensores propioceptivos y, un control basado en escalas temporales más grandes, subyace sobre los sensores visuo-vestibulares, aportando una nueva interpretación a la variabilidad del control postural.

Así, en este recorrido que ha tenido por punto de partida la imagen de los estabilogramas, desde la mirada clásica, que asociaba mayor variabilidad, con menor estabilidad, la teoría de los sistemas dinámicos explora la posibilidad de que una mayor variabilidad pueda estar relacionada con una mayor estabilidad y, una vez más, como postula Simondon, el estabilograma puede ser el portador de una nueva carga de invención a ser redescubierta.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado en el marco del Proyecto: *Evaluación integral y caracterización avanzada del equilibrio estático y dinámico de adultos mayores*; Convocatoria UBACYT 2017-2019; Marginaciones Sociales (PIUBAMAS) 20620160100004BA y contó con el apoyo de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias de la Pontificia Universidad Católica Argentina

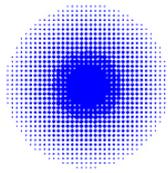
Bibliografía

Collins, J.J., De Luca, C.J. (1993). Open-loop and closed-loop control of posture: A random-walk analysis of center-of-pressure trajectories. *Exp Brain Res* 95:308-318.

Delcomyn, F. (1980). Neural basis of rhythmic behavior in animals. *Science*, 210, 492-498.

Feldman, A. G. (1966). Functional taming of the nervous system with control of movement or maintenance of a steady posture. II. Controllable parameters of the muscle. *Biophysics* 11, 565-578.

Gherzi, I., Castro Arenas, C., Borsoi, P., Miralles, M.T. (2017). Force Plate Calibration and Setup for Assessments of Human Balance. En *IFMBE Proceedings 60*, © Springer Nature Singapore Pte Ltd. 197-200 I. Torres et al. (eds.), *VII Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB 2016, Bucaramanga, Santander, Colombia, October 26th -28th, 2016*, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-4086-3_50



Gagey P.M., Weber, B. (2001). *Posturlogía. Regulación y alteraciones de la bipedestación*. Barcelona: Masson.

Gilfriche, P., Deschodt-Arsac, V., Blons., E, Arsac, L.M. (2018). Frequency-Specific Fractal Analysis of Postural Control Accounts for Control Strategies. *Physiol*, 28 March 2018.

Haken, H. (1983). *Synergetics: An Introduction*. Heidelberg. Springer.
Kugler, P. N., Turvey, M. T. (1987). *Information, Natural Law, and the Self-Assembly of Rhythmic Movement*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Latash M., Zatsiorsky V. (2016). *Biomechanics and Motor Control. Defining Central Concepts*. Amsterdam: Elsevier

Latash, M. L., Turvey, M.T. (1996). *Dexterity and Its Development Resources for Ecological Psychology*; Mahwah, Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Lipsitz, L.A., Goldenberg, A.L. (1992). Loss of “complexity” and aging. Potential applications of fractals and chaos theory to senescence. *JAMA*, 267, 13:1806-1809.

McLuhan. M., Fiore, Q. (1967). *El medio es el mensaje*. Buenos Aires: Paidós editorial.

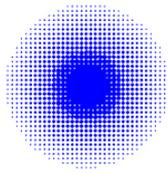
Miralles, M.T., Gherzi, I. (2017). Chapter 9: Muscular and Skeletal Systems. En *Further Understanding of the human machine. The Road to Bioengineering* (pp: 305-356). London: World Scientific.

Mochizuki, L., Duarte, M., Armadio, A.Z, Zatsirosky, V. M., Latash, M. L. (2006). Changes in postural sway and its fractions in conditions of postural instability. *Journal of Applied Biomechanics* 22, 51-66.

Nashner, L. M., McCollum, G. (1985). The organization of human postural movements: A formal basis and experimental synthesis. *Behavioral and Brain Sciences*, 8, 135-172.

Paulus, W., Straube, A. and Brandt, Th. (1987). Visual postural performance after loss of somatosensory and vestibular function. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 50, 1542-1545.

Pearson, K. G. (1987). Central pattern generation: A concept under scrutiny. In H. McLennan, J. R. Ledson, C. H. S. McIntosh and D. R. Jones (Eds), *Advances in Physiological Research* (pp. 167-185). New York: Plenum.



Saltzman, E.; Kelso, J.A.S. (1985). Synergies: Stabilities, instabilities, and modes. *Behavioral and Brain Sciences*, 8, 161-163.

Schoner, G.; Kelso, J.A.S. (1988). Dynamic pattern generation in behavioral and neural systems. *Science*, 209, 1513-1520.

Sheldon, J. H. (1963). The effect of age on the control of sway. *Gerontología Clínica*, 5, 129-138.

Sherrington, C. S. (1898). Decerebrate rigidity, and reflex coordination of movements. *Journal of Physiology (London)*, 22, 319-332.

Sherrington, C. S. (1910). Flexion-reflex of the limb, crossed extension reflex, and reflex stepping and standing. *Journal of Physiology (London)*, 40, 28-121.

Simondon, G. (2013). *Imaginación e Invención*. (1965-1966). Buenos Aires: Catus.

Simondon, G. (2008) *Imagination et invention* (1965-1966). Les Éditions de la Transparence/Philosophie. Paris.

Taub, E. (1976). Movement in nonhuman primates deprived of somatosensory feedback. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 4, 335-374.

Van de Crommert, H.W.A.A, Mulder, T., Duysens J. (1998). Neural control of locomotion: sensory control of the central pattern generator and its relation to treadmill training, *Gait and Posture* 7, 251-263.

Whiting, H. T. A. (1984). *Human Motor Actions: Bernstein Reassessed*. New York: North-Holland.

Winter, D. A. (1983). Moments of force and mechanical power in jogging. *Journal of Biomechanics*, 16, 91-97.

Winter, D. A. and Robertson, D. G. E. (1978). Joint torque and energy patterns in normal gait. *Biological Cybernetics*, 29, 137-142.