

49
Res



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**DINAMICA DEL BUCEO Y FRECUENCIA
CARDIACA EN EL HUMANO Y EL LOBO
MARINO COMUN**

Zalophus californianus californianus

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

BIOLOGA

PRESENTA

MA. ELENA DURAN LIZARRAGA



México, D.F.

DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES



1995

**FACULTAD DE CIENCIAS
SECCION ESCOLAR**

FALLA DE ORIGEN

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

M. EN C. VIRGINIA ABRIN BATULE
Jefe de la División de Estudios Profesionales
Facultad de Ciencias
Presente

Los abajo firmantes, comunicamos a Usted, que habiendo revisado el trabajo de Tesis que realiz(ó)ron la pasante(s) María Elena Durán Lizarraga

con número de cuenta 8955227-2 con el Título: _____

Dinámica del buceo y frecuencia cardíaca en el humano y en el lobo marino común *Zalophus californianus californianus*

Otorgamos nuestro Voto Aprobatorio y consideramos que a la brevedad deberá presentar su Examen Profesional para obtener el título de Bióloga

GRADO	NOMBRE(S)	APELLIDOS COMPLETOS	FIRMA
Biólogo	Julio Alejandro	Prieto Sagredo	<i>[Firma]</i>
Director de Tesis	Luis	Medrano González	<i>[Firma]</i>
Doctor	Gustavo	Pastelín Hernández	<i>[Firma]</i>
Doctora	María Luisa	Fanjul Moles	<i>[Firma]</i>
Suplente	M. en I.B.B. Marco Antonio	Sánchez Ramos	<i>[Firma]</i>
Suplente			

A Jorge

y David,

A mis padres, Sandy y Jorge,

A mis abuelos Eida y Salvador, Nelly y Celiano

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a la Secretaría de Marina y al personal de la Sexta Zona Naval y de la Sexta Flota en Guaymas, Sonora por su apoyo logístico durante el trabajo de campo.

Al Ingeniero Eugenio Navarro Cervantes que fabricó el equipo de registro y el de captura de datos sin los cuales el trabajo no hubiera podido llevarse a cabo.

Al todo el equipo de trabajo del Laboratorio de Neurofisiología Comparada, y en especial a la Dra. Fanjul, por haberme permitido utilizar sus instalaciones y por su compañía e interés en mi trabajo.

A la Miss MariCarmen por su asesoría sobre la biología de los lobos marinos y su apoyo durante las horas difíciles en la isla.

A los sinodales Dra. Ma. Luisa Fanjul, Dr. Gustavo Pastelín y el M. en I.B.B. Marco Antonio Sánchez por sus comentarios a mi trabajo de tesis.

Al Biól. Julio Prieto y al Dr. Luis Medrano, por aceptar emprender conmigo un sueño que se transformó, primero en aventura y después en trabajo.

A Mamá y a Papá, por la amistad, amor y apoyo que siempre me brindaron.

A Elena Gottdiener y Carmen Chac por las facilidades para la impresión de esta tesis.

A Berenice, por ser ella la sembradora de la semilla que culminaría en este trabajo; a Arturo, por su invaluable ayuda en el trabajo de campo. A Lupita, Claudia V., Conchita, Normita, Sergio y en especial a Carla por su apoyo y amistad presente en todo momento.

TEORIA DE CONJUNTOS

**Cada cuerpo tiene
su armonía y su desarmonía**

**en algunos casos
la suma de armonías
puede ser casi empalagosa**

**en otros
el conjunto
de desarmonías
produce algo mejor
que la belleza**

Mario Benedetti

INDICE

ABREVIATURAS	1
RESUMEN.	2
INTRODUCCION.	3
ANTECEDENTES.	
Caos y geometría fractal.	5
Generalidades de fisiología cardíaca.	8
Caos y fisiología cardíaca.	11
El reflejo de buceo.	13
El buceo en el lobo marino común de California.	16
Planteamiento de la investigación.	17
Zona de estudio.	18
MATERIAL Y METODOS.	
Observaciones del patrón de buceo de lobos marinos en vida libre.	19
Equipo de registro del ECG.	19
Registro electrocardiográfico de lobos marinos.	19
Registro electrocardiográfico de humanos.	21
Análisis de datos.	21
RESULTADOS.	
Dinámica del buceo.	24
Dinámica de la frecuencia cardíaca.	32
DISCUSION.	39
CONCLUSIONES.	45
APENDICE.	
Curvas de frecuencia vs tiempo.	47
Espectros de potencias.	48
Descripción del espacio-fase.	49
Cálculo de dimensiones.	50
REFERENCIAS.	51

ABREVIATURAS

CFB	.....	Criterio de fin de buceo
Críos ECG	.....	Críos a los que se tomó ECG
Críos VL	.....	Críos en vida libre
DF	.....	Dimensión Fractal
ECG	.....	Electrocardiograma
FC	.....	Frecuencia Cardíaca
LBA	.....	Límite de Buceo Aerobio
Nodo SA	.....	Nodo senoauricular
Nodo AV	.....	Nodo atrioventricular
Sup	.....	Superficie
TMR	.....	Tasa metabólica relativa

RESUMEN

Para comparar los posibles cambios en la dinámica cardíaca debidos a la bradicardia del buceo, se estudiaron los cambios en frecuencia cardíaca en humanos y en críos del lobo marino común analizándolos desde el punto de vista de los sistemas dinámicos. También se analizó la posible influencia del patrón de buceo como un elemento externo que influye sobre la dinámica cardíaca.

Para ello se registró, el electrocardiograma (ECG) en humanos y en críos del lobo marino en vida libre con un amplificador portátil y se registró el momento de inicio y fin de cada inmersión para analizar el patrón de buceo, tanto de los animales a los que se les registró el ECG como a animales en vida libre de diferentes categorías sociales de lobo marino.

La dinámica cardíaca en el humano no presentó la transición de la dinámica caótica a una periódica como se había encontrado en los estudios preliminares. Los críos desarrollan el reflejo de buceo con un patrón diferente al descrito para los animales adultos y no se detectó cambio alguno en la dimensión fractal. Al normalizar la escala de tiempo para las diferentes categorías, se observó que el patrón de buceo es semejante entre sí y también es semejante al de las hembras en viajes de alimentación descrito en la literatura, ya que en todos los casos se encontraron episodios de buceo separados por períodos de tiempo con algunos buceos aislados. Las diferencias en el patrón de buceo se asocian al gasto energético.

INTRODUCCION

La aproximación tradicional a los problemas en biología se fundamenta en arduas descripciones y análisis estadísticos. Por otro lado, en los últimos años el estudio de las dinámicas no lineales ha alcanzado un considerable desarrollo y se ha comenzado a aplicar exitosamente en la biología, particularmente en la fisiología (Glass y Mackey, 1988).

La importancia de la teoría de los sistemas dinámicos en las ciencias, es que permite caracterizar cuantitativamente sistemas con comportamientos complejos (West, 1990). Estos análisis han sido de particular importancia en el estudio de fenómenos cíclicos como son los diferentes ritmos biológicos. A través de este tipo de análisis se ha tratado de explicar cómo se originan y cómo terminan ciertas oscilaciones. También se ha estudiado el efecto de perturbaciones únicas sobre los procesos oscilatorios así como el fenómeno de sincronización con eventos periódicos externos al sistema biológico en estudio. Aspectos relacionados con el estudio de sistemas complejos, como el caos y la geometría fractal han comenzado a impactar a la biología en diversos campos que van desde la morfología clásica hasta la neurofisiología y la epidemiología (Glass y Mackey, 1988). La actividad de los pulsos cardíacos y las ondas cerebrales son muy similares a una gran variedad de fenómenos naturales cíclicos que exhiben un comportamiento impredecible y aparentemente azaroso como el clima. Este tipo de fenómenos comparten la propiedad de que las leyes físicas que los gobiernan son simples y su dinámica es no lineal (West, 1990).

Goldberger y cols. en 1985, postularon la teoría de que la fisiología cardíaca y, en particular el origen y propagación del impulso cardíaco, está fundamentada en una dinámica no lineal que resulta de una estructura fractal de la red de distribución del impulso cardíaco, el haz de His-Purkinje. Cuando el corazón entra en procesos patológicos, como el infarto agudo al miocardio, en lugar de perder orden, como tradicionalmente se pensaba, la frecuencia cardíaca gana orden. Este tipo de comportamiento, que se puede explicar a través de la matemática determinista, permite también nuevas conceptualizaciones que parecen contraponerse a los tratados clásicos de fisiología cardíaca como el caso de la nueva teoría que explica la muerte súbita como un proceso debido a la pérdida del carácter caótico de la frecuencia cardíaca en lugar del modelo conservador que proponía que el corazón entraba en paro debido a un comportamiento cada vez más caótico (Goldberger y cols., 1985).

La frecuencia cardíaca es resultado de la interacción entre los nodos senoauricular y atrioventricular y los estímulos del sistema neuroendócrino (West, 1990). Este sistema no lineal, aparentemente simple, genera un proceso no periódico que pareciera ser un fenómeno fortuito.

El estudio del reflejo de buceo permite aproximarse a las adaptaciones cardiovasculares y respiratorias que permiten a los organismos habitar diferentes ambientes. Cuando se estudian las adaptaciones desde el punto de vista comparativo, se observa que existen diferentes caminos para llegar a una misma respuesta. Los mamíferos que viven en el medio acuático, a pesar de que los caminos que recorrieron en su regreso a la vida marina fueron distintos para cada grupo, comparten características anatómicas y funcionales, desarrolladas en mayor o menor grado, que responden a las restricciones del medio en el que habitan, entre estas características destaca el reflejo de buceo como la respuesta de los sistemas cardiovascular y respiratorio que permite realizar inmersiones a mayor profundidad y de mucha mayor duración que cualquier mamífero terrestre, en los que también existe el reflejo en forma menos conspicua. Los cambios de los sistemas implicados reflejan la relación compleja organismo-ambiente, de ahí que para entender un proceso evolutivo es necesario relacionar los cambios de los organismos con los cambios del ambiente. Esta manera de estudiar la fisiología de los individuos es una forma de aproximarse a la dinámica que rige la evolución de la especie.

En el presente trabajo se propuso estudiar el reflejo de buceo porque ofrecía una oportunidad para retomar los estudios clásicos sobre el tema, particularmente sobre los tiempos de apnea y la bradicardia del buceo y analizarlos desde el punto de vista de los sistemas dinámicos. Para llevar a cabo este trabajo se desarrolló la técnica de registro del electrocardiograma en crías del lobo marino común *Zalophus californianus californianus* en vida libre, y se efectuaron los registros conductuales apropiados. También se analizó el patrón de buceo que estos animales desarrollan en los territorios reproductivos, comparándolo entre las diferentes categorías sociales y con el que ha sido descrito para hembras en viajes de alimentación. En humanos se realizaron registros del electrocardiograma en reposo y sumergiendo el rostro en agua para analizar los cambios dinámicos durante la bradicardia por buceo. Los estudios del buceo en crías se compararon con los resultados obtenidos en humanos con el objeto de estudiar los cambios en la dinámica de la frecuencia cardíaca en animales libre buceadores y animales no buceadores.

ANTECEDENTES

CAOS Y GEOMETRIA FRACTAL

Definición de caos y atractores. El desarrollo de la matemática de los sistemas no lineales permite analizar diversos procesos que evolucionan en forma compleja y que ocurren en todas las ramas de la ciencia. Caos es el término empleado para describir el comportamiento de un sistema que es inherentemente impredecible, en el que el más pequeño error o aproximación empleada en la formulación de la predicción la hace completamente errónea. Una característica que define a un sistema caótico es su dependencia en las condiciones iniciales y que puede presentarse tanto en sistemas influenciados por muchos factores como en aquellos con pocos grados de libertad.

Una consecuencia importante de la aparición de los modelos no lineales es que los sistemas se estudian de manera global, sin buscar soluciones parciales o específicas, sino buscando la descripción de todas las posibles soluciones, para identificar el comportamiento del sistema. El caos se asocia de manera muy importante con la geometría fractal: las estructuras con diseño fractal quedan como huellas de los procesos caóticos, las matemáticas desarrolladas para su estudio se elaboraron de manera independiente y aún falta establecer su conexión.

En la naturaleza, todos los procesos tienden hacia alguna forma de estabilidad, a este estado se le denomina atractor y se define como la región a la que se aproximan las soluciones del sistema durante el tiempo. Los atractores se clasifican en tres grandes categorías: el atractor puntual, en el que las soluciones se aproximan a un mismo punto en el tiempo; el círculo límite, en el que las soluciones oscilan alrededor de cierto valor; y el atractor "extraño", que forman figuras geométricas extrañas alrededor de una zona más o menos definida, la dinámica de estos atractores es caótica (Devaney, 1990). En la naturaleza se encuentran atractores del tipo extraño en el sistema meteorológico, en el desarrollo del árbol pulmonar y en la frecuencia del latido cardíaco normal.

Definición de fractal. Un fractal es un conjunto geométrico que consiste en una serie de fragmentos de distinto tamaño y orientación pero de forma similar (Devaney, 1990; Golberger y cols., 1990). Ya que un fractal está compuesto por estructuras similares entre sí en distinta escala, su magnitud no está definida; conforme se modifica la resolución del aparato de medida, aumenta la extensión del fractal sin que cambie de forma, es decir, la forma del fractal no cambia cuando se cambia la escala (Weber, 1991). Este es el fenómeno conocido como "Costa de Bretaña". A diferencia de la dimensión en la geometría euclidiana en la que una línea tiene dimensión 1, el área de un círculo tiene dimensión 2 y una esfera tiene un volumen de dimensión 3, las dimensiones fractales (DF) son habitualmente fraccionarias de ahí el nombre fractal. Debido a que la magnitud absoluta no es un concepto significativo cuando se trabaja con fractales se

necesita otra herramienta matemática para describirlos por lo que los matemáticos calculan la dimensión de un fractal cuantificando como llena el espacio. A mayor dimensión que tenga un fractal, mayor probabilidad de que en una región dada de espacio se encuentre una pieza de ese fractal. (Mandelbrot, 1982; Golberger y cols., 1990; Devaney, 1990). Formalmente, se define al fractal como un conjunto geométrico para el cual la dimensión Hausdorff-Besikovitch excede la dimensión topológica, esta dimensión puede ser fraccionaria (Mandelbrot, 1982) (Figura 1).

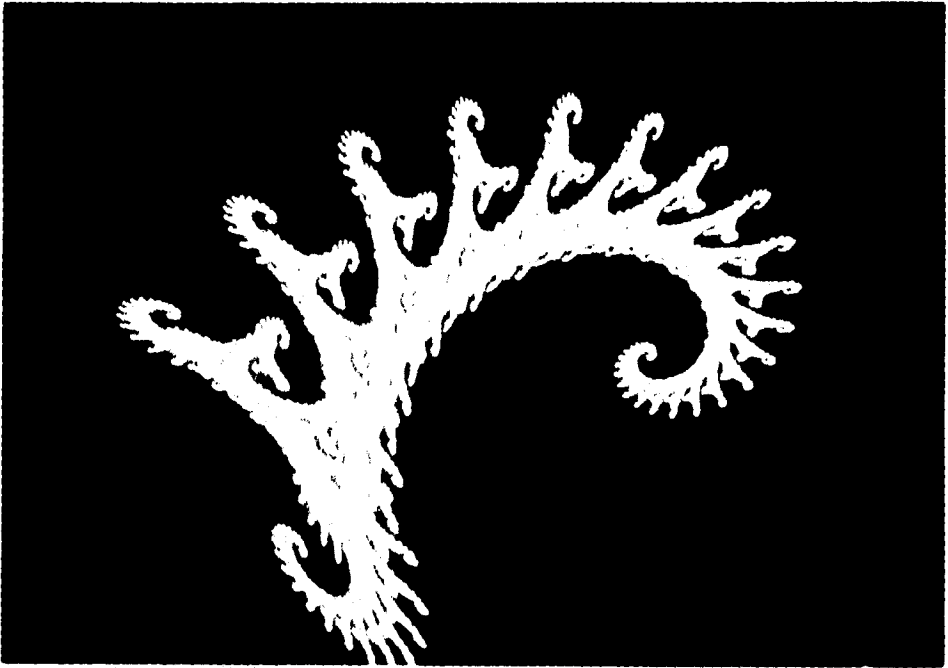


FIGURA 1.- Un fractal está compuesto por estructuras similares entre sí en distinta escala, por lo tanto la forma del fractal no cambia cuando se cambia la escala (Fotografía de una gráfica de computadora).

El diseño fractal en la naturaleza. Se ha propuesto que en los organismos existen sistemas con diseño fractal en virtud de la dinámica compleja que presentan al ser sistemas alejados del equilibrio termodinámico. Ejemplo de ello son las membranas celulares, las formas de crecimiento sésil como plantas y corales, la superficie del intestino delgado, las vías aéreas pulmonares, el sistema vascular, algunas neuronas, el flujo de sangre, y el sistema de conducción eléctrica ventricular del corazón, este sistema de conducción es la red de His-Purkinje (Devaney, 1990; Goldberger y cols., 1985; Webel, 1991) (Figura 2a y b).

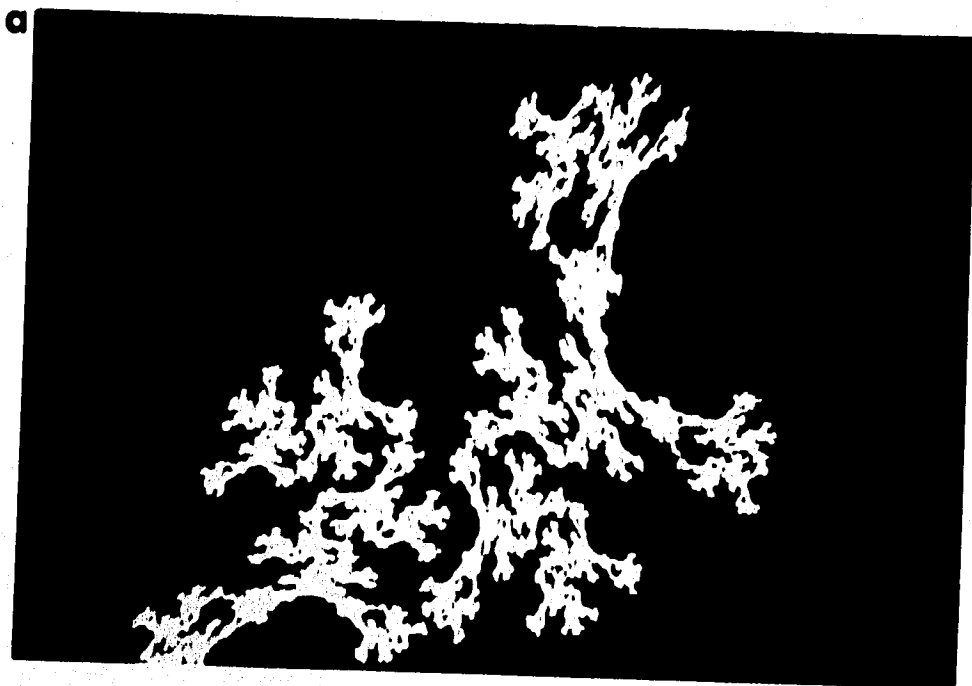


FIGURA 2.- Ejemplo de diseños fractales en la naturaleza: a) los corales (fotografía da una gráfica de computadores) y b) el sistema vascular del corazón (Tomado de Goldberger y cols., 1990).

Para la caracterización de un sistema caótico no basta buscar la forma del atractor, que se obtiene a partir de las gráficas de espacio fase, en las que se grafican las trayectorias de un sistema y que se espera sea un atractor tipo extraño, sino también se requiere del análisis del espectro de potencia en el que se espera encontrar una banda ancha de frecuencias, y del cálculo de la dimensión que permite una aproximación a la complejidad del problema (ver Apéndice).

GENERALIDADES DE FISILOGIA CARDIACA

Origen del latido cardíaco. La actividad del marcapaso cardíaco tiene su origen en cambios en la conductancia de la membrana celular dependientes del tiempo y se encuentran implicadas al menos 7 corrientes iónicas distintas que involucran Na^+ , K^+ y Ca^{+2} . Estas corrientes producen los cambios en el potencial de membrana durante el ciclo cardíaco (Giles, 1989). Un latido cardíaco consiste en fases alternadas de contracción y relajación de la totalidad de la masa muscular cardíaca. La contracción de las fibras del miocardio va precedida por potenciales de acción (Eckert y cols., 1988), los cuales son más prolongados que los potenciales de acción del músculo estriado o de las neuronas. Todos los tejidos del corazón de los vertebrados tienen la habilidad intrínseca de latir espontáneamente en ausencia de estímulos del sistema nervioso. Una despolarización diastólica lenta, o potencial marcapaso, se genera en el nodo senoauricular (SA). Esto dispara un potencial de acción que llega a las aurículas y luego pasa a través del nodo atrioventricular (AV) para finalmente excitar al músculo ventricular (Giles, 1989). En el humano la actividad se propaga del nodo SA al nodo AV a una velocidad de 0.8 m/s a través de los fascículos internodales, en el nodo AV se conduce a 0.05 m/s hasta llegar a las fibras nodales donde su velocidad aumenta a 0.1 m/s, para llegar a la red de His-Purkinje desde donde viaja a todo el músculo ventricular a una velocidad de 4-5 m/s. Estos cambios en velocidad favorecen que se complete la contracción de las aurículas antes de la contracción ventricular asegurando el flujo de sangre adecuado hacia los ventrículos (Ganong, 1990; Giles, 1989) (Figura 3).

Debido a que todas las células cardíacas se encuentran acopladas eléctricamente, el grupo de células que late con mayor frecuencia es quien estimula al corazón completo para su contracción y determina la frecuencia cardíaca (FC) (Eckert y cols., 1988; Hunstman y Feigl, 1989; Ganong, 1990).

El hecho de que los potenciales de acción sean prolongados asegura que una cámara se contraiga completamente antes de que las primeras células se empiecen a relajar, y que las uniones intercelulares no provoquen una estimulación múltiple con reverberación de actividad en el músculo cardíaco (Hunstman y Feigl, 1989).

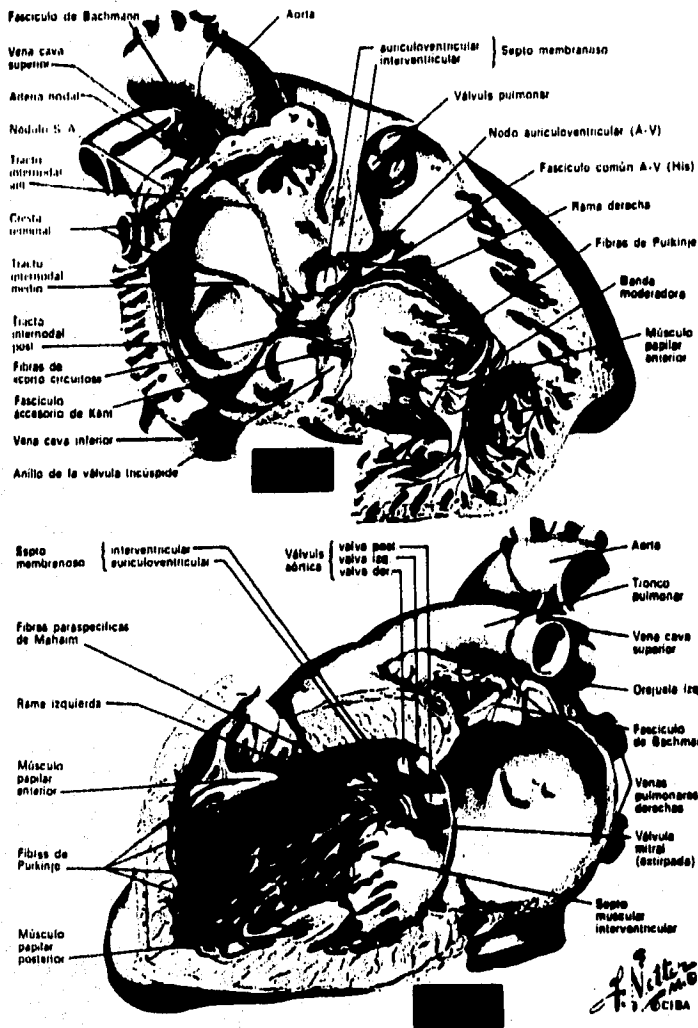
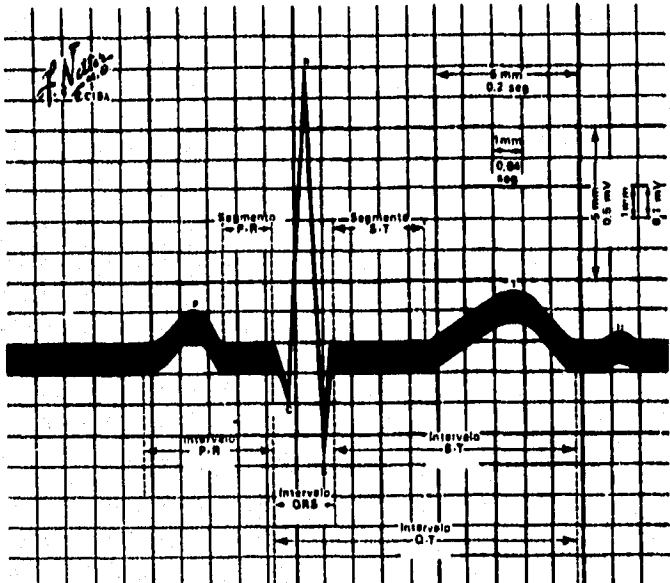


FIGURA 3.- El diseño fractal del sistema de conducción eléctrica del corazón sienta las bases para la hipótesis de la dinámica cardíaca caótica (Tomado de Netter, 1983).

La regulación cardiovascular. El sistema cardiovascular presenta una regulación intrínseca sumamente efectiva durante el reposo, pero debe ser reforzada por la regulación extrínseca del sistema nervioso central durante actividades como cambios de postura o ejercicio y ante situaciones como cambios moderados de temperatura. La regulación extrínseca se inicia con la detección en cambios de la presión arterial por baro y quimioceptores que transmiten esta información al sistema nervioso central. Una vez integrada la información, la respuesta es regulada a través del sistema nervioso autónomo (Scher, 1989).

El electrocardiograma. El electrocardiograma (ECG) es el registro integral de los potenciales de acción de todas las células cardíacas. Estos registros se pueden llevar a cabo extracelularmente debido a que el cuerpo es un buen conductor de volumen (Eckert y cols., 1988; Ganong, 1990; Giles, 1989) (Figura 4).



Variaciones normales	Intervalo P-R	Intervalo QRS	Frecuencia	Intervalo Q-T	Segmento S-T
	Adultos	0.18 a 0.20 seg	0.07 a 0.10	60	0.33 a 0.43 seg	0.16 a 0.18 seg
Niños	0.15 a 0.18"	segundo	70	0.31 a 0.41 seg	0.13 a 0.16 seg
			80	0.29 a 0.39 seg	0.12 a 0.14 seg
			90	0.28 a 0.38 seg	0.11 a 0.13 seg
			100	0.27 a 0.36 seg	0.10 a 0.11 seg
			120	0.25 a 0.32 seg	0.08 a 0.07 seg



Cálculo de la frecuencia { Se cuenta el número de intervalos R-R (3.5) en 3 seg (16 espacios de 0.2 seg cada uno)
 Multiplique 3.5 por 20 para obtener la frecuencia por minuto (70 en este caso)

FIGURA 4.- Las curvas de un ECG normal con las variaciones normales en las magnitudes de los valores de las ondas (Tomado de Netter, 1983).

El ECG presenta tres complejos principales: la onda P es la deflexión inicial que resulta de la despolarización de las aurículas; el complejo QRS es producto de la despolarización de los ventrículos y la onda T que es producto de la repolarización ventricular. A veces después de T se presenta una pequeña onda U producto de la repolarización auricular. El ECG es un parámetro de la actividad fisiológica del corazón, las relaciones entre las ondas, su duración y sus cambios sirven como bases para establecer una guía sobre la actividad cardíaca (Scher, 1989).

CAOS Y FISIOLÓGIA CARDIACA

Se sabe que tanto la excitación como la propagación del impulso en el sistema de conducción ventricular depende de la FC. Ya que la actividad de los tejidos cardíacos está controlada por parámetros no lineales dependientes del tiempo, se puede considerar a estos tejidos como sistemas dinámicos, y se ha demostrado que cuando se les estimula eléctricamente presentan patrones de excitación periódicos o muy irregulares lo que sugiere que el analizar los efectos de la no linealidad permitiría explicar los patrones de actividad en los tejidos cardíacos.

En 1985, Goldberger y cols., propusieron que por ser la red de His-Purkinje un laberinto de caminos desiguales de conducción, un sólo pulso que llegue a un sitio de bifurcación activa dos pulsos que se propagarán en sus caminos respectivos hasta una nueva bifurcación, donde el proceso se repetirá de manera que un pulso que entra a la red con N bifurcaciones producirá 2^N pulsos de aproximadamente la misma amplitud, con diferencias de velocidad debidas a los diferentes diámetros de cada rama y la longitud efectiva de la vía de conducción que siga, el tiempo de llegada al miocardio estará determinado por este camino, la activación eléctrica del ventrículo se representa por una onda con componentes en un intervalo amplio de frecuencias.

Estas observaciones sugirieron la existencia de una relación entre la estructura fractal (Haz de His-Purkinje) y una función no lineal en un sistema fisiológico estable (FC) (Goldberger, y cols., 1985), es decir, la dinámica del corazón sano parece ser caótica. Otros estudios encabezados por el mismo Goldberger demostraron que en algunas patologías, particularmente las asociadas con la muerte súbita como son la taquicardia ventricular, el aleteo ventricular y la fibrilación ventricular, el comportamiento caótico de la FC se transforma en un comportamiento periódico.

Estos resultados sirven de fundamento para un nuevo modelo que explica la dinámica cardíaca previa a la muerte súbita que se apoya en comparaciones de registros de actividad eléctrica en individuos sanos y enfermos, análisis de frecuencias y análisis de atractores observados en gráficas espacio-fase (Goldberger y cols., 1985, Goldberger y Rigney, 1990). El modelo antiguo proponía que la dinámica de un corazón saludable es periódica y cuando es alterado por alguna patología (p.e. la fibrilación), se torna caótica y se apoya en evidencias directas como observaciones de corazones fibrilados durante una cirugía (Figura 5).

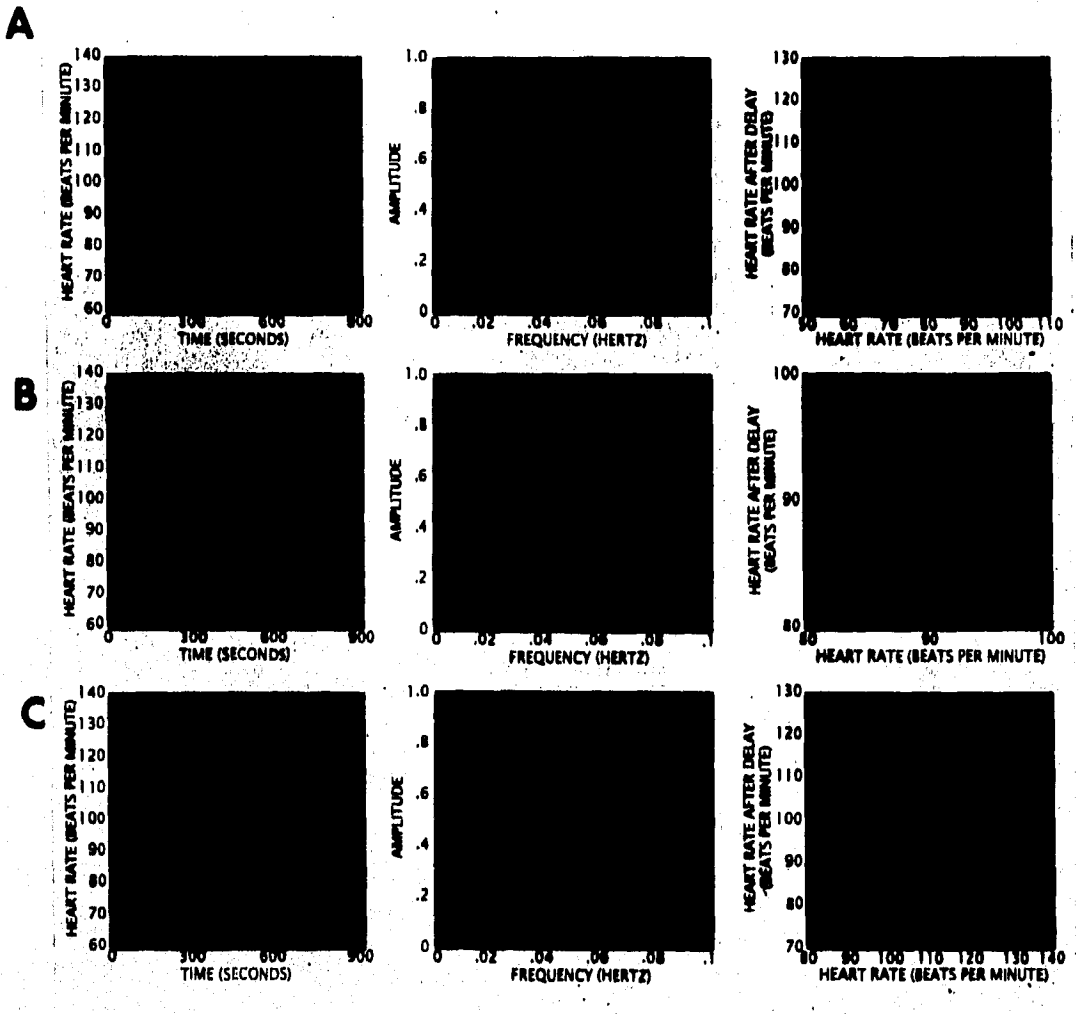


FIGURA 5.- Se presentan en el panel A) las gráficas frecuencia tiempo, gráficas espacio fase (F_i vs F_{i+1}) y espectros de potencia correspondientes a un registro de un humano a 13 hrs después de un infarto, en el panel B) a 8 días del infarto y en el panel C) las figuras correspondientes a un humano sano. Nótese el cambio en la variabilidad, el panel C) presenta gran variabilidad y un atractor extraño a diferencia de B) en que se presenta un fenómeno oscilatorio con un atractor tipo ciclo límite y en A) que es prácticamente estable y el atractor es puntual. (Tomado de Goldberger y cols., 1990).

EL REFLEJO DE BUCEO

Generalidades. Cuando se realiza una inmersión se presentan cambios cardiovasculares y respiratorios que permiten a los vertebrados de respiración aérea permanecer sumergidos durante períodos prolongados, uno de los cambios es el reflejo de buceo típico que se origina en principio, en los termorreceptores faciales y sostenido por señales de los barorreceptores aórticos y carotídeos y quimiorreceptores pulmonares que aumentan su frecuencia de descarga. Se pueden enlistar a los factores involucrados en esta respuesta: agua, temperatura, apnea, decremento en la presión parcial de O_2 e incremento en la de CO_2 sanguíneo (Eckert y cols., 1988; Paulev y cols., 1992).

Todos los vertebrados, mamíferos, aves, reptiles y anfibios desarrollan una bradicardia por buceo que en la mayoría de los casos es gradual. Esta bradicardia suele mantenerse aunque el animal desarrolle o no ejercicio bajo el agua (Eisner y cols., 1966; Shölander, 1969) (Figura 6).

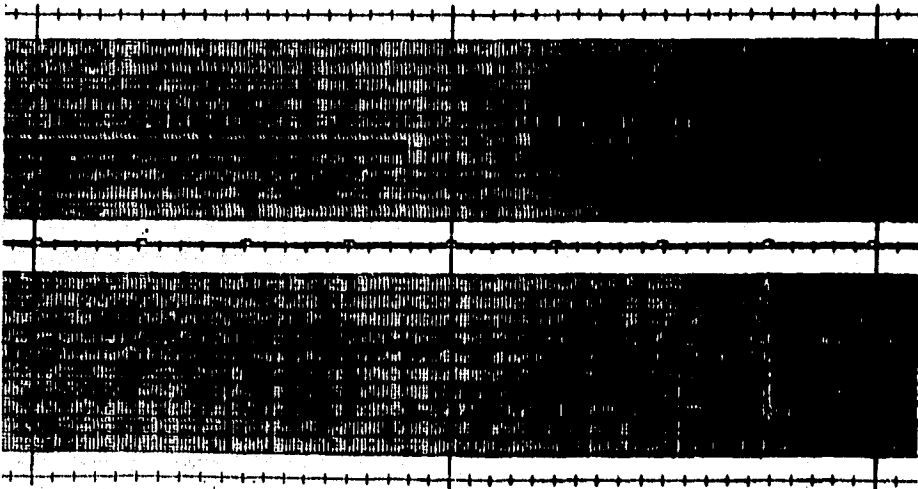


FIGURA 6.- Registro en dos canales que representan la conducta y ECG de una foca de puerto, *Phoca vitulina*. El trazo superior representa las fases en superficie y en inmersión, y el trazo inferior corresponde al ECG. Nótese el período de transición y los cambios en el intervalo R-R durante las inmersiones (Tomado de Williams y cols., 1991.)

A diferencia de los predadores terrestres, las actividades de alimentación de los mamíferos marinos se realizan bajo condiciones de apnea. La profundidad a la que se alimentan y el tiempo que le dedican a buscar y capturar sus presas está limitada por la cantidad de oxígeno que tienen almacenado, sin embargo, dentro de los límites fisiológicos hay una considerable flexibilidad en las formas en que los mamíferos marinos encuentran y atrapan a sus presas. Las variaciones

que se presentan en los patrones de buceo sugieren que la disponibilidad y abundancia de las presas influyen la profundidad y duración de los buceos de alimentación (Feldkamp y cols., 1989).

La respuesta en humanos. La respuesta cardiovascular: bradicardia y vasoconstricción, puede ser mimetizada en humanos con la sola inmersión del rostro en agua. Paulev y cols., en 1992, identificaron dos componentes en la disminución de la FC durante la inmersión facial, que involucran una respuesta rápida parasimpática de la entrada de los barorreceptores carotídeos y aórticos, y una respuesta posterior mediada por actividad simpática eferente. A partir de estas observaciones, los autores proponen que los receptores faciales sensibles a frío son importantes para el mantenimiento de la respuesta a largo plazo.

Durante el buceo en humanos, en casi el 50% de los casos son comunes ciertos tipos de arritmias después de 20-40 seg de inmersión, como la inversión de la onda T, contracciones ventriculares prematuras y ritmos idioventriculares. La bradicardia puede disminuir el pulso hasta el 50%, aunque suele llegar a 2/3 del valor de FC en reposo, casi no hay disminución en la FC por apneas en aire y prácticamente no hay vasoconstricción periférica, además en hombres y patos la inmersión sin apnea produce bradicardia (Hong y Rahn, 1967; Schölander, 1969).

En humanos saludables se han registrado ECGs en reposo y durante el reflejo de buceo y cuando se asocian las arritmias descritas por Shölander en 1969, se ha observado que el comportamiento en el tiempo del latido cardíaco pasa de ser caótico a un comportamiento periódico. Se ha encontrado que existen cambios en la dinámica cardíaca, se observa durante el reposo, la presencia de un atractor extraño y durante el reflejo de buceo se transforma en un atractor del tipo círculo límite con un cambio en la dimensión de los atractores que pase de ser 1.85 a 1.64 (Durán y cols., 1994).

La respuesta en los mamíferos marinos. En todas las aves y mamíferos marinos las respuestas a buceos simulados en laboratorio involucran apnea, bradicardia y vasoconstricción periférica. Los efectos metabólicos incluyen una redistribución preferencial de O₂, acumulación de productos del metabolismo como lactato, disminución de glucosa en la sangre y lavado del lactato durante la recuperación (Elsner, y cols., 1966; Schölander, 1969; Kooyman y cols., 1981).

Los mamíferos marinos han desarrollado adaptaciones anatómicas y fisiológicas que les permiten hacer apneas que duran desde unos minutos a más de una hora. La adaptación estructural primaria involucra endurecimiento de las vías aéreas no respiratorias. Durante el buceo profundo, la presión hidrostática en la pared del pecho se transmite a los pulmones, el gas que se encuentra en las partes respiratorias es comprimido y llevado a las vías aéreas endurecidas; desde allí el gas no puede intercambiarse a la sangre pulmonar y de esa manera se evitan los efectos de la disolución del nitrógeno: narcosis y enfermedad de la mala descompresión (Buggren y Roberts, 1991).

Cuando se obliga al animal a bucear o bucea bajo condiciones de estrés, éste despliega las respuestas extremas al buceo, particularmente una bradicardia marcada y una extensa vasoconstricción. (Kooyman y cols., 1981; Thompson y Fedak, 1993). La bradicardia extrema es una respuesta fisiológica que representa el límite de una respuesta gradual dependiente de la duración de la inmersión.

El gasto cardíaco en reposo es semejante entre lobos marinos, focas y otros mamíferos terrestres. Durante el buceo el gasto cardíaco disminuye, aunque si el animal desarrolla ejercicio aumenta linealmente, en el lobo marino este aumento es semejante al de otros mamíferos terrestres de tamaños semejantes cuando realizan ejercicio (Elsner, y cols., 1966; Ponganis y cols., 1991). La caída del gasto cardíaco en las focas llega a ser del 10-20% de los valores en reposo. Esta caída responde a cambios en la FC aunque se mantiene constante el volumen sistólico. A pesar de estos cambios la presión arterial permanece constante, lo que indica un aumento en la resistencia periférica y un cambio en la distribución de la sangre, esta redistribución es la clave para el uso más adecuado de oxígeno durante la inmersión. El flujo sanguíneo es dirigido a órganos vitales con alto requerimiento energético y poca capacidad anaeróbica, incluso la circulación coronaria es disminuida en un 90% durante buceos prolongados. En las focas, la temperatura del cuerpo disminuye a pesar del aislamiento térmico producto de la vasoconstricción y esto se debe a la disminución de la actividad metabólica durante las inmersiones (Kooyman y cols., 1981).

Las respuestas cardiovasculares al buceo reflejan la duración de la inmersión, el nivel de estrés asociado a la inmersión y cuanto ejercicio subacuático se desarrolla. Los eventos cardiovasculares asociados al buceo resultan de la interacción de los reflejos asociados al ejercicio con el reflejo de buceo típico (Farrell, 1991).

Aspectos metabólicos. Los animales marinos, tienen una cantidad limitada de O₂ almacenado en su sangre y tejidos para mantener el metabolismo aerobio, que puede ser sustituido por anaerobiosis durante el buceo. El grado de ruptura con el estado estable y el tiempo necesario para su completa recuperación dependerá de la cantidad de metabolismo anaerobio, que se incrementa con la duración y nivel de actividad durante el buceo.

Hay pruebas de que, durante el buceo, el metabolismo disminuye: la temperatura corporal disminuye 2 ó 3°C durante el buceo, a pesar de que la vasoconstricción produce un aislamiento térmico del medio, el descenso de actividad cardíaca y renal produce una disminución de casi 20% del metabolismo basal (Kooyman y cols., 1981).

Debido a que no se puede medir el gasto metabólico por medio de calorimetría directa, se utiliza a la deuda de oxígeno como indicador del metabolismo durante el buceo. La deuda de oxígeno se define como el oxígeno adicional consumido durante la recuperación medido a partir del nivel de reposo y se calcula a partir de los datos de ácido láctico acumulado. Durante los buceos voluntarios, la concentración de ácido láctico no cambia, sin embargo, cuando los

buceos son forzados o muy prolongados se observa un pico de concentración de ácido láctico momentos después de que el animal emerge. Este incremento de lactato en sangre indica que el animal ha excedido su límite de buceo aeróbico (LBA), que se define como la duración máxima de un buceo sin que haya una producción neta de lactato. Los tiempos de recuperación posteriores al buceo están determinados por la velocidad de eliminación del ácido láctico de la sangre (Thompson y Fedak, 1993).

EL BUCEO EN EL LOBO MARINO COMUN DE CALIFORNIA

La foca de puerto, *Phoca vitulina*, presenta un patrón de buceo con inmersiones prolongadas cuya duración depende de la velocidad de nado. Durante los cuatro segundos previos a la inmersión y los cuatro segundos previos a la emersión, se presenta un aumento en la FC que se mantiene por pocos segundos, entre estos dos períodos de taquicardia se desarrolla una marcada bradicardia que representa una disminución en la FC de hasta un 63% (Figura 6), (Williams y cols., 1991).

La foca de Weddell, *Leptonychotes weddellii*, presenta inmersiones cortas y períodos de recuperación también cortos, sólo el 2% de sus buceos exceden su LBA (Kooymán y cols 1980). Debido a que este fue el primer patrón descrito, se suponía que era común a todos los reptiles, aves y mamíferos buceadores, sin embargo, el estudio del patrón de buceo de la foca gris, *Halichoerus grypus*, que pasa el 89% de su tiempo de vida sumergida durante episodios de buceo muy prolongados y sólo nada cuando asciende o desciende y presenta una caída en FC a 4 latidos por minuto, (Thompson y Fedak, 1993), obliga a un nuevo planteamiento de los estudios de energética del buceo y cálculos del LBA.

Para realizar estudios sobre patrones de buceo, el lobo marino, *Zalophus californianus*, ha resultado ser un buen modelo debido a que las hembras efectúan viajes de alimentación durante la temporada reproductiva y regresan para alimentar a sus críos, durante estas temporadas reproductivas se encuentran en los territorios, además de las hembras y los críos, machos sultanes y juveniles. El lobo marino presenta variaciones en su patrón de buceo que pueden ser interpretadas como una variación entre individuos más que entre categorías discretas, sin embargo, se presentan características generales, no hay preferencia por buceos diurnos o nocturnos, los buceos son generalmente cortos y someros, presentan series continuas de buceos separados por intervalos cortos en los que sale a superficie. Estas series están separadas por períodos largos de natación en los que se pueden presentar inmersiones y representan la característica más conspicua del patrón de buceo del lobo marino (Feldkamp, y cols., 1989).

En los buceos en serie, los intervalos en superficie se han asociado al proceso de intercambio gaseoso y de recarga de la reserva de oxígeno, y se consideran parte de patrones conductuales que reflejan diferencias morfológicas y fisiológicas entre pinnípedos. Los lobos marinos requieren menos tiempo para el intercambio del volumen tidal ya que cuentan con refuerzos cartilaginosos

en el pulmón lo que les permite tener un mayor flujo de aire a pequeños volúmenes pulmonares. Los fócidos no presentan estos refuerzos más que en las vías aéreas terminales y requieren de más tiempo para rellenar su reserva de oxígeno (Williams y cols., 1991).

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION

Si se parte de que existen cambios en la dinámica cardíaca entre un corazón humano sano y uno cercano a un paro cardíaco y que cambios semejantes pueden observarse cuando se analiza la dinámica de un corazón de un humano sano cuando se desarrolla el reflejo de buceo, resulta interesante el planteamiento de un trabajo en el que se estudie la dinámica cardíaca de animales libre buceadores, en los que se esperan cambios dinámicos diferentes a los observados en los humanos, aún cuando sí se presenten las variaciones cardiovasculares propias del reflejo de buceo para comparar la forma en que estos cambios se presentan en ambos modelos.

Como se ha señalado anteriormente, la dinámica de un corazón saludable es caótica y las variaciones latido a latido se interpretan como medida de la capacidad de respuesta a un medio cambiante; así, bajo condiciones patológicas, el corazón pierde la variabilidad de la frecuencia latido a latido y por lo tanto su dinámica es cada vez menos caótica. En el reflejo de buceo en el humano se ha descrito la aparición de arritmias (Shölander, 1969) y este hecho podría asociarse al cambio que se desarrolla durante la bradicardia por buceo. Cuando el estudio incluye animales libre buceadores se debe analizar el patrón de buceo, ya que es un factor externo con influencia en la modulación de la actividad cardíaca y debido a que una gran parte de la vida de estos animales la pasan bajo el agua, es de suponerse que no se presentarán cambios dinámicos que puedan ser desventajosos para el desarrollo de sus múltiples actividades subacuáticas.

La hipótesis general propone que si la bradicardia por buceo altera las variaciones latido a latido del corazón de manera que el carácter caótico de estas pasa a ser periódico, entonces esta alteración se reflejará en las gráficas frecuencia contra tiempo como disminución en las frecuencias y se verán oscilaciones periódicas; en las gráficas espacio-fase habrá cambios en el tipo de atractor y en el análisis de Fourier la relación entre potencias y frecuencias presentará cambios debidos a que se presentan diferencias en la dinámica cardíaca durante la condición de reposo en superficie y la condición de buceo como cambios en las pendientes. También se presentará una disminución de la dimensión fractal (DF) en los episodios de buceo.

Los objetivos del trabajo fueron:

- a) Analizar los cambios dinámicos de la FC inducidos por buceo en humanos saludables (25-32 años de edad),
- b) Analizar los cambios en la FC inducidos por el buceo en críos de lobo marino durante sus primeras semanas de vida

c) Analizar los patrones de buceo de los lobos marinos durante el registro de ECG y de distintas categorías de sexo y edad de estos animales en libertad durante su temporada de reproducción.

d) Comparar los cambios dinámicos que ocurren por la bradicardia de buceo en humanos y en crías de lobo marino.

ZONA DE ESTUDIO

La Isla Angel de la Guarda es la segunda más grande de las islas del Golfo de California con un área total de 895 km², queda situada entre los paralelos 29° 00' y 29° 34' de latitud norte y entre los meridianos 113° 33' y 113° 09' de longitud oeste. Está constituida por un conjunto montañoso que emerge del fondo marino. A lo largo de la isla se encuentra una cordillera, interrumpida en su parte media por una región baja, el pico más alto de la cordillera se encuentra en el extremo norte a 1,315 metros sobre el nivel del mar. Su clima seco y caliente, según la clasificación de Köppen, corresponde para México a BWhw(X). La precipitación anual promedio es de 50 mm y no se conocen manantiales ni arroyos. El patrón anual de temperatura en la región es caliente en verano y frío en invierno. Las temperaturas máximas se alcanzan durante los meses de junio, julio y agosto, normalmente siendo mayor a los 38°C y a veces llegando hasta 43°C. Los vientos predominantes son los del noroeste durante el invierno y primavera, durante el verano y otoño los predominantes provienen del sureste (Bourillon y cols., 1988).

En esta isla los lobos marinos *Zalophus californianus californianus* se distribuyen en dos loberas, la del extremo noreste, "Los Cantiles", y "Los Machos" en la parte media de la costa este, en temporada reproductiva. En estas dos loberas se encuentra el 12% de la población de lobos marinos del Golfo de California (Bourillon y cols., 1988).

Este estudio se realizó durante los meses de junio y julio del 1993 en las zonas AB, CD, 4A, 4B y 2 de la lobera Los Cantiles, en la Isla Angel de la Guarda (García, 1992).

MÉTODOS

OBSERVACIONES DE BUCEO DE LOBOS MARINOS EN VIDA LIBRE

Se llevaron a cabo seguimientos de por lo menos cinco minutos a animales individualizados de todas las categorías sexo/edad desde puestos de observación en las zonas C y D de la lobera "Los Cantiles". Las categorías que se consideraron fueron: machos sultanes (machos), hembras, juveniles, y críos en vida libre (críos VL), además de la de críos a los que se tomó el ECG (críos ECG). En juveniles, críos VL y críos ECG no se hizo distinción de sexos. Debido a que el patrón de buceo puede definirse a partir de la secuencia y duración de los episodios en inmersión y en superficie, se utilizaron cronómetros para llevar a cabo estos seguimientos que se hicieron de la siguiente manera: se consideró como inicio el momento en el que el animal entraba al agua y se sumergía, se tomaron los datos del inicio y duración de la inmersión, también se anotaron las pautas conductuales durante el buceo y se determinó como fin de registro cuando el animal salía del agua, se perdía de vista o se llegaban a 20 min de registro. Se obtuvo registro de 7 machos, 8 hembras, 8 juveniles, 20 críos VL y 17 críos ECG.

EQUIPO DE REGISTRO DEL ECG

Para el registro del ECG se utilizó un amplificador portátil marca NaFri, que emite un pulso sonoro a cada latido del corazón, este pulso se grabó en una cinta de audio, utilizando grabadoras Aiwa HS-JS215 y Sony M-1118, con un micrófono Aiwa estereo, en cintas de CrO2 Sony Turbo IEC II/Type II High Bias 70 ms EQ (Figura 7).

REGISTRO ELECTROCARDIOGRAFICO DE LOBOS MARINOS

Implementación y colocación de los electrodos. Se construyeron dos juegos de tres electrodos de aguja utilizando mariposas #19 y #20 que se unieron a cables para audifono de 1m de largo, pelando la punta del cable y metiendo dos de los alambres dentro de la mariposa, a la que previamente se había quitado la manguera de plástico, de modo que quedaran únicamente la mariposa y la aguja. Una vez dentro estos alambres, los otros se enrollaban alrededor de la aguja en la base, se fijaron utilizando tubo Termoft^{MR}, se sujetaron con una capa de plásticero y dos pedazos de cinta adhesiva. Estos cables se soldaron a un conector macho de cuatro postes correspondiente al conector del amplificador. Sin embargo, para que los animales tuvieran más facilidad para moverse, se utilizó un cable coaxial extensor de 15m de largo de 3 vías que conectaba a los electrodos con el amplificador. Los conectores se impermeabilizaron utilizando silicón Sylgard^{MR} Dow Corning de manera que sellaran al cerrar.

Se trabajó en las zonas AB, CD, 4A, 4B y 2 de la lobera Los Cantiles. Se capturaron cinco críos de lobo marino por sesión, se registró su FC con ayuda de un estetoscopio y palpación manual. En los puntos donde se iban a colocar los electrodos, se aplicó previamente 1 ml de xilocaína 2% como anestésico local, después de colocar los electrodos estos se sujetaron, en un principio con dos grapas quirúrgicas, cuando las grapas se acabaron, se intentó suturar pero debido a que esto implicaba manejar durante más tiempo a los animales y estos se ponían nerviosos se decidió sujetar los electrodos con cinta plateada, lo que dió mejores resultados. Los electrodos primero se colocaron a la altura de las aletas, pero se movían cuando el animal se desplazaba y se decidió colocarlos por debajo de ellas. Con ésta posición de los electrodos se obtuvo una derivación convencional bipolar no convencional, un equivalente positivo de DIII (Figura 7).

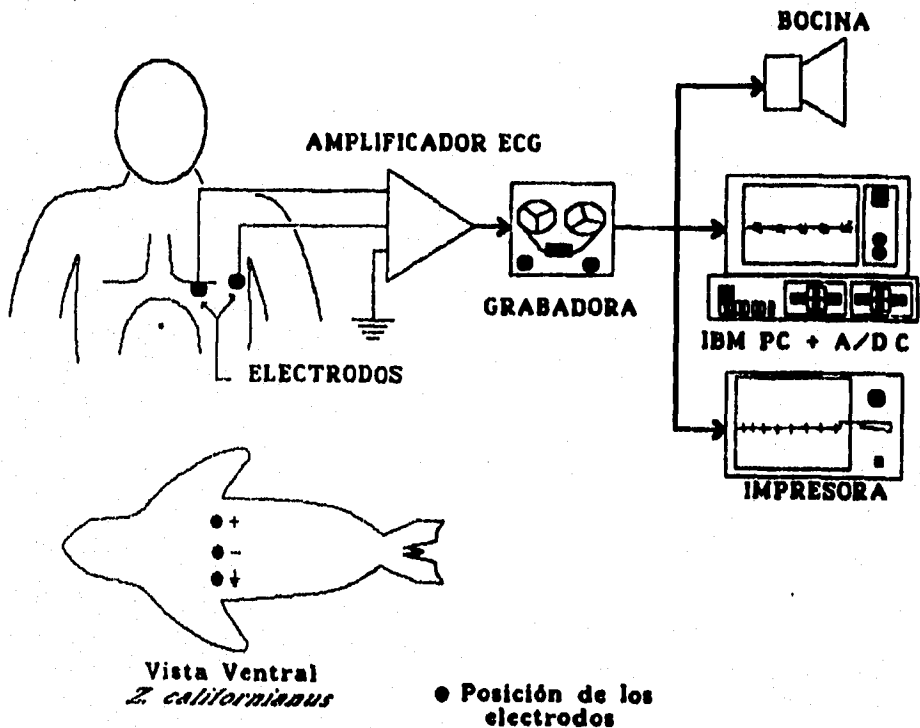


FIGURA 7.- Diagrama de flujo del registro y captura de datos. AC/DC = convertidor analógico digital.

El registro del ECG. Los críos se inmovilizaron de la siguiente manera: una persona les sujetó la cabeza, otra la cola, otra las aletas, mientras una cuarta persona le colocó los electrodos. Los electrodos se conectaron al sistema de registro descrito anteriormente. Se revisó que la señal del amplificador correspondiera a la FC utilizando el estetoscopio y palpaciones manuales. Cuando el animal quedaba tranquilo se daba un par de minutos para tener un registro en tierra durante el reposo. Después se pasó a una cubeta o alberca infantil para que bucearan, para esto se sujetó al crío por las aletas posteriores para que metiera la cabeza al agua (cuando se empleó la cubeta), en la alberca nadaban libremente. Debido a que el reflejo de buceo en mamíferos se desarrolla con la simple inmersión de la cabeza en agua, en este estudio se consideró que los animales buceaban en los momentos en que tenían sumergida la cabeza en el agua (Figura 8a y b).

Se llevó el registro de la hora de inicio del registro, la hora de entrada al agua, los momentos de apnea (cuando el animal sumergía la cabeza en el agua), su duración y la hora de fin de registro. Se obtuvieron aproximadamente nueve horas de registro, de 53 registros de ECG.

Al final del registro se procedió a medir el largo total del crío con una cinta métrica tensa, desde la punta de la nariz a la punta de la cola, sin que la cinta lo tocara, también se midió el diámetro del cráneo pasando la cinta por encima de las pinas lo más ajustado posible y se pesó con un saco y un dinamómetro.

REGISTRO ELECTROGARDIOGRAFICO DE HUMANOS

Los registros se realizaron utilizando el sistema de amplificador y grabación descrito anteriormente y electrodos de placa sujetos por una banda de hule. Se colocó la tierra bajo la tetilla derecha, el positivo bajo la tetilla izquierda y el negativo en la línea axilar anterior izquierda, todos a la altura del 5º espacio intercostal. Para el registro durante la inmersión, se le pidió al sujeto que sumergiera el rostro en una tina con agua a 22°C con el fin de producir la bradicardia por buceo.

ANALISIS DE DATOS

El patrón de buceo: En 1989 Feldkamp y cols. utilizaron las gráficas de criterio de fin de buceo (CFB) descritas por Gentry y Kooyman en 1986 para analizar el patrón de buceo de hembras de *Zalophus californianus* en viajes de alimentación; estas son gráficas de distribución acumulada de la duración de los intervalos en superficie, presentan dos cambios en pendiente, la 2ª corresponde a la duración del intervalo de superficie que marca el fin de un episodio de buceo. A partir del CFB se establecieron la duración de los trenes de buceo y los parámetros estadísticos correspondientes a la duración promedio de los trenes por categoría, porcentaje de tiempo total que el animal pasa en inmersión, el porcentaje de tiempo del tren en inmersión, la tasa ventilatoria, a partir de la cual se calculó la tasa metabólica relativa (TMR) por categoría.



FIGURA 8.- Registro de ECG durante buceos libres de crías de lobo marino. a) Auscultación del latido cardíaco y b) Registro en alberca.

Para el análisis de la FC se copiaron los registros de ECG, reproduciendo sólo los mejores y más adecuados para el análisis, se escogieron en total 33 registros que ocupan aproximadamente 5 hrs y media de grabación. Únicamente se obtuvieron registros de dos críos con dos registros en distintas fechas y un crío con cuatro diferentes registros, lo que se debió al problema que representó la recaptura de los críos. Para el análisis en este trabajo se escogieron 5 registros representativos, por ser los de mayor duración y contener menos ruido.

En el análisis de resultados que involucran los cambios en la FC se empleó un registrador digital Instrutech^{MR} VR-10 para digitalizar la señal del amplificador, los registros digitalizados se respaldaron en video. Con el programa PCLAMP^{MR} (Axon Instruments) se midió el período entre latidos a partir del cual se calculó la frecuencia como el inverso del período. El período también se obtuvo utilizando una tarjeta analógica digital modelo XC-AD12(-H) de la marca Acqutek Corporation^{MR} y un programa de captura de la compañía NaFri, de igual manera se convirtieron los datos a frecuencia.

Con el programa SigmaPlot^{MR} se hicieron gráficas de frecuencia contra tiempo que muestran el comportamiento de la FC durante el registro, y en la gráfica superior con barras se presentan los períodos inmersión-superficie marcados en negro y blanco, respectivamente, lo que permite relacionar los cambios de frecuencia con la condición en que se encontraba el sujeto experimental en ese momento.

A partir de los datos de frecuencia se hicieron las gráficas espacio-fase, también con SigmaPlot^{MR}, el cálculo de la dimensión fractal de la serie de FC se hizo con el programa DIM desarrollado por Luis Medrano en el Departamento de Biología de la Facultad de Ciencias; los espectros de frecuencias se construyeron utilizando el programa Statgraphics^{MR} y la pendiente de los espectros se calculó con SigmaPlot^{MR} ajustando el espectro a la función $P(f) \propto 1/f^\alpha$ (Ver Apéndice).

RESULTADOS

DINAMICA DEL BUCEO.

A partir de los registros de tiempo de superficie-inmersión de los lobos marinos se elaboraron tablas por categorías de sexo-edad de animales en vida libre y se incluyeron los datos de los críos ECG. En la Tabla 1 se observa el cálculo del promedio del tiempo total de apnea por categoría y el porcentaje equivalente con respecto a la duración de los seguimientos (Figura 9a). Puede observarse que el porcentaje de tiempo en apnea disminuye en forma alométrica con la categoría sexo-edad en donde los machos presentan mayor porcentaje de tiempo en inmersión que las otras categorías. Nótese que los críos VL y críos ECG presentan diferencias, ya que los críos VL tienen menor duración promedio de apnea pero representa un mayor porcentaje de tiempo en apnea por registro. Las diferencias entre críos VL y críos ECG se deben principalmente a las condiciones de los registro de ECG.

TABLA 1. VALORES PROMEDIO \pm ERROR ESTANDAR DE APNEA Y TASA VENTILATORIA POR CATEGORIA SEXO-EDAD DE LOBOS MARINOS

	MACHOS	HEMBRAS	JUVENILES	CRIOS VL	CRIOS ECG
PROM APNEA (s)	28.1 \pm 4.4	22.0 \pm 0.05	15.5 \pm 4.3	7.99 \pm 0.8	11.1 \pm 3.2
%	86.9 \pm 2.6	78.3 \pm 3.3	71.8 \pm 9.6	51.9 \pm 9.6	28.8 \pm 3.5
RPM	2.4 \pm 0.29	3.1 \pm 0.37	4.89 \pm 0.9	9.26 \pm 0.9	10.2 \pm 1.4
N	7	8	8	20	17

Se ha descrito que los lobos marinos se ventilan sólo una vez cuando salen a la superficie (Williams y cols., 1991), con ese criterio se calculó la tasa ventilatoria como respiraciones por minuto (rpm) y se obtuvo el promedio por categoría que se muestra en la Tabla 1 y en la Figura 9b. La gráfica demuestra que los animales de mayor tamaño tienen una tasa ventilatoria menor a la de los animales más pequeños, tendencia que se presenta en otros mamíferos (Whitow, 1987). El cálculo de la tasa ventilatoria permitió a su vez el cálculo de la tasa metabólica relativa (TMR) como consumo de oxígeno por minuto: $O_{2\text{min}}^{-1} = 430 + [120 \times \text{duración de la apnea}]$ (Huntley 1987), y con datos bibliográficos se calculó la reserva de oxígeno promedio por categoría y su LBA como se muestra en la Tabla 2 (Luch y cols., 1989; Morales, B. y Aguayo A. 1992 y Feldkamp y cols., 1989). Como es de esperarse los machos tienen un LBA mayor que los animales pequeños. La TMR obtenida a partir de la tasa ventilatoria se comparó con otros dos métodos

(Whittow, 1987; Kleiber, 1975; Auriol y Zavala, 1994) (Figura 10) y se obtuvieron correlaciones de 0.99 para las dos comparaciones, por lo que se puede tener la certeza de que el cálculo de la TMR partir de la tasa ventilatoria en buceo es correcto.

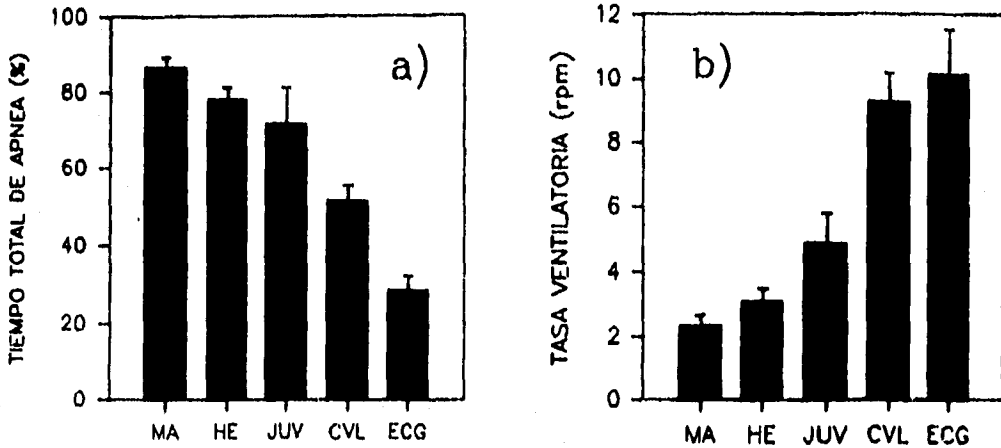


FIGURA 9.- a) Gráfica de barras correspondientes a los porcentajes de tiempo totales en apnea en las categorías sexo-edad de lobos marinos. b) Gráfica de barras de la tasa ventilatoria de cada categoría sexo-edad de lobos marinos, (respiraciones por minuto: rpm). Las barras representan el promedio más el error estándar. MA: machos; HE: hembras; JUV: juveniles; CVL: crios VL y ECG: crios ECG.

TABLA 2. CALCULO DE METABOLISMO BASAL Y LIMITE DE BUCEO AEROBIO POR CATEGORIA SEXO-EDAD DE LOBOS MARINOS

CATEGORIA	PESO (Kg)	TMR (l/min)	O ₂ DISPONIBLE	LBA (min)
CRIOS	14.25	0.14	0.54	3.85
JUVENILES	40.5	0.32	1.54	4.81
HEMBRAS	90.0	0.59	3.43	5.81
MACHOS	265.0	1.32	10.09	7.64

Nota: Los datos de peso (w) de los animales son promedios obtenidos bibliográficamente. La fórmula para el cálculo de la tasa metabólica relativa: $R = 2 \cdot 0.0101w^{0.75}$ se tomó de Feldkamp y cols., 1989. Para la estimación del O₂ disponible se partió del supuesto de que la relación de O₂ disponible y peso es lineal y la proporción O₂/peso es constante. Feldkamp y cols. en 1989 reportan para hembras una relación O₂/peso de $3.81 \cdot 10^{-2}$ l/Kg la que se tomó como constante: O₂ disponible = $3.81 \cdot 10^{-2}$ l/Kg * w. El límite de buceo aerobio se calculó por la relación de la tasa metabólica con el oxígeno disponible.

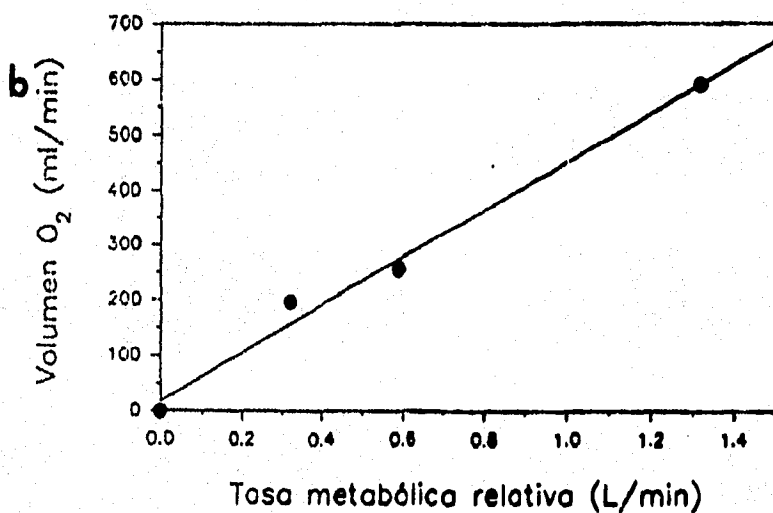
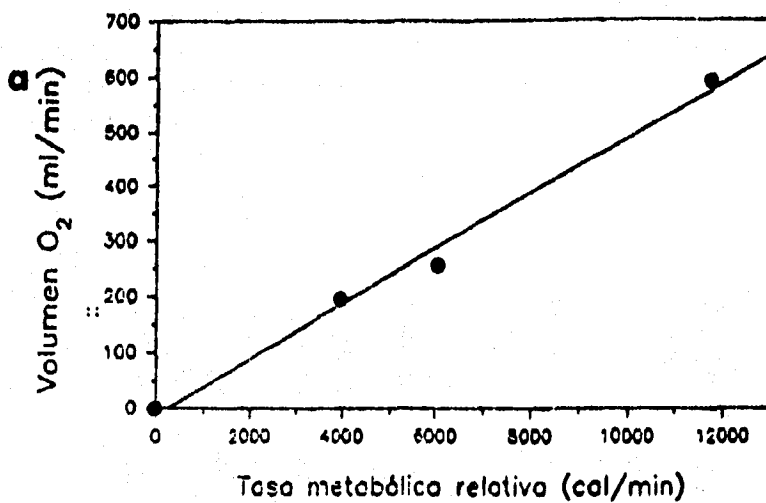


FIGURA 10.- a) La TMR calculada a partir de la frecuencia ventilatoria versus la calculada por el método de Kolbr 1975, b) La TMR calculada a partir de la frecuencia ventilatoria versus datos obtenidos por calorimetría indirecta recopilados por Auricles y Zavala, 1994.

Los buceos de todas las categorías sexo-edad en los territorios reproductivos se presentan como series de inmersiones separadas por intervalos en superficie todas las categorías sexo-edad en los territorios reproductivos se presentan como series de inmersiones separadas por intervalos en superficies cortas que a su vez se separan por períodos en superficie relativamente largos; cada serie de inmersiones corresponde a un episodio de buceo. En la Figura 11 se presenta con barras negras las inmersiones y en blanco las superficies, en algunos casos es muy fácil observar el fin y el inicio de los episodios de buceo, como en el caso del registro del macho.

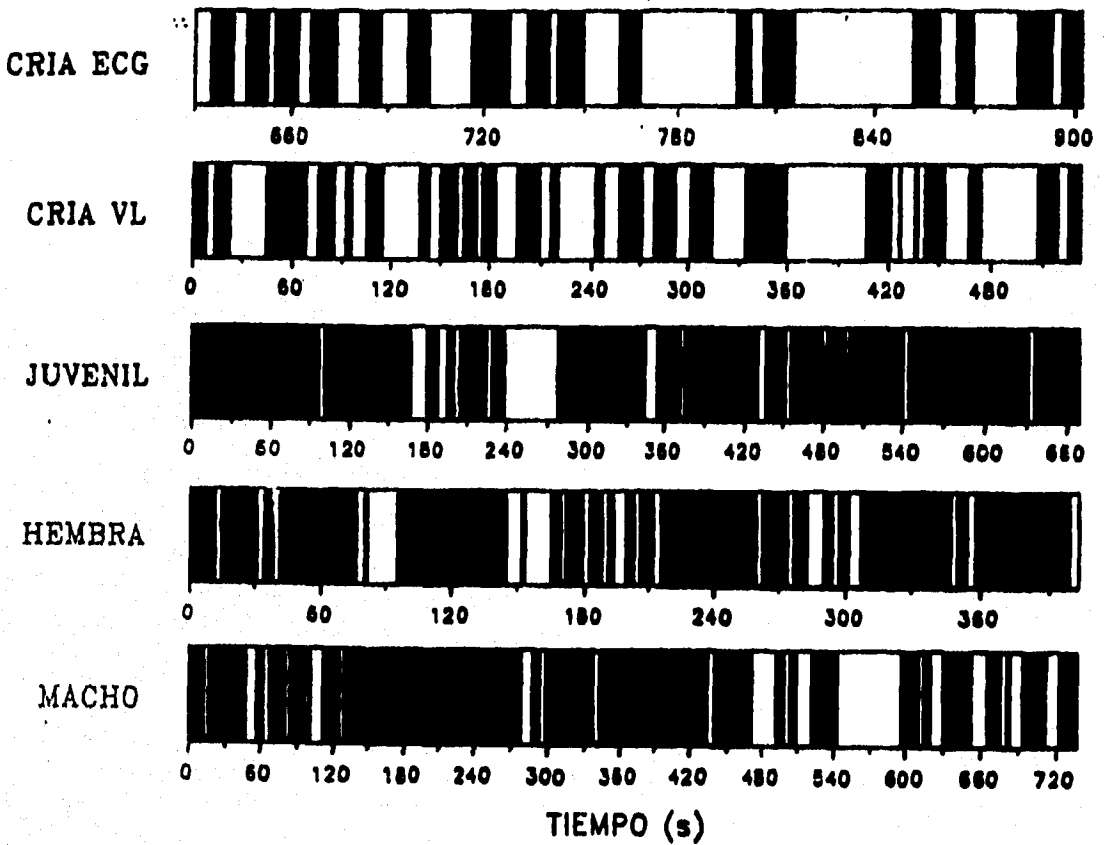


FIGURA 11.- Fracciones de registros de un individuo de cada categoría sexo-edad para mostrar los patrones de buceo (ver texto).

Se utilizaron las gráficas CFB para caracterizar la distribución de los episodios de buceo para individuos de todas las categorías. La figura 12 es la gráfica CFB del registro #33 que corresponde a un crío hembra a la que se tomó registro de ECG con una duración aproximada de 30 min, la 2a inflexión corresponde a la duración de el intervalo de superficie que marca el fin del episodio de buceo, para este registro el CFB fue de 26 seg.

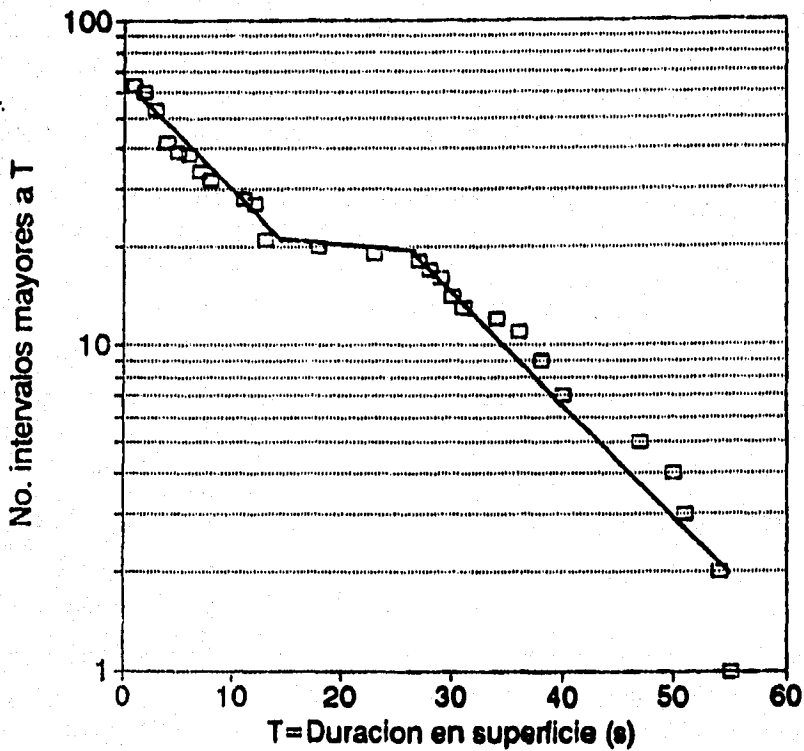


FIGURA 12.- Curva CFB de un crío hembra (R33) donde se muestran los 2 puntos de inflexión de la curva. Los puntos de inflexión se escogieron a partir de los coeficientes de regresión mejores para los segmentos que podían formar las rectas con diferentes pendientes según el método de Gentry y Kooyman, 1966.

A partir de los cálculos del CFB se determinó la duración promedio del episodio de buceo por categoría. La categoría con episodios más largos fue la de los machos y después la de los juveniles, después las hembras, los críos ECG y los más cortos los presentaron los críos VL (Figura 13a, Tabla 3). El tiempo promedio del episodio que pasan en apnea es semejante en las categorías macho, hembra y juveniles son semejantes (85-93%) mientras que los críos ECG presentan una diferencia del 30% con respecto a los críos VL (Figura 13b).

En la Tabla 3 se incluye el número de organismos a los que se les pudo calcular el CFB; aunque el promedio de duración del episodio de buceo en todas las categorías tiene errores estándar altos se debe notar que cuando se calcula el porcentaje de apnea por episodio, el error disminuye notablemente, esto puede estar asociado a aspectos motivacionales de la conducta de buceo que producen episodios de buceo de diferentes tamaños, pero no tiene influencia en la fracción de apnea por tren lo que puede deberse a un proceso homeostático como el que se ha descrito para la foca gris *Halichoerus grypus* (Thompson y Fedak, 1993).

TABLA 3.- PROMEDIO \pm ERROR ESTANDAR DE DURACIONES DE EPISODIOS DE BUCEO POR CATEGORIA SEXO-EDAD DE LOBOS MARINOS

	MACHOS	HEMBRAS	JUVENILES	CRIOS VL	CRIOS ECG
EPISODIOS DE BUCEO (min)	417 \pm 56.5	116	209 \pm 20	87.75 \pm 10.1	120 \pm 14.9
% APNEA POR EPISODIO	90.98 \pm 2.37	85.34	93.38 \pm 0.6	73.22 \pm 2.98	50.9 \pm 4.1
N	5	1	3	12	11

Para comparar las diferentes categorías entre ellas y con el patrón de las hembras en viaje de alimentación se normalizó la frecuencia y la duración de los intervalos en superficie (normalización de las gráficas CFB, Figura 14). En las curvas se aprecia un decaimiento exponencial de la duración de los intervalos en superficie, en la tabla 4 se presentan las pendientes de cada categoría. Las categorías que presentan menor pendiente son la de machos y la de juveniles. Las conductas asociadas al buceo en los territorios de cada categoría fueron: para machos flotando en agua, ocasionalmente patrulleje activo y pasivo; las hembras flotando y rodando en agua, estas conductas presentadas por machos y hembras se han asociado al descanso (MariCarmen García, comunicación personal; Mauricio Ramírez, datos no publicados); los críos se mantenían en zonas someras en conductas de juego que incluían buceos y los juveniles

desarrollaban mayor actividad trasladándose entre los territorios y jugando entre sí; como se verá más adelante las conductas pueden ser la causa de los cambios en pendiente que se muestran en la tabla y en la Figura 14.

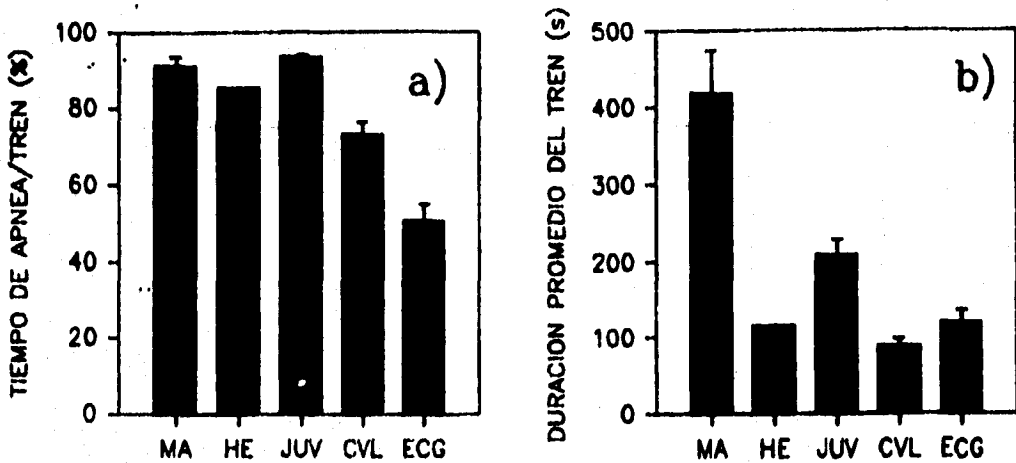


FIGURA 13.- a) Gráfica de barras de la duración promedio de los episodios de buceo (trenes) por categoría. b) Gráfica de barras de el porcentaje de tiempo de apnea por tren en cada categoría. Las barras representan el promedio más el error estándar. MA: machos; HE: hembras; JUV: juveniles; CVL: crios VL y ECG: crios ECG.

TABLA 4.- VALOR PROMEDIO \pm ERROR ESTANDAR DE LAS PENDIENTES DE LAS CURVAS DE CFB NORMALIZADAS PARA CADA CATEGORIA SEXO-EDAD DE LOBOS MARINOS

CATEGORIA	PENDIENTE \pm ES
MACHOS	-16.71 \pm 2.61
HEMBRAS	-6.95 \pm 0.58
JUVENILES	-5.79 \pm 0.65
CRIOS VL	-7.78 \pm 0.49
CRIOS ECG	-3.74 \pm 0.19
HEMBRAS (VIAJE)	-2.47

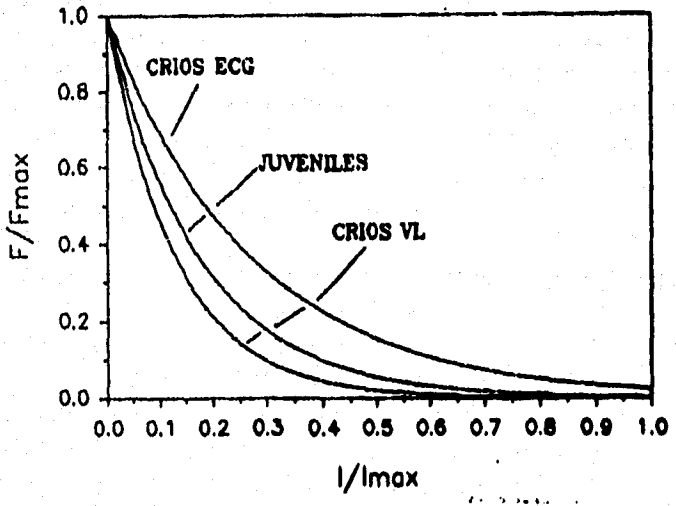
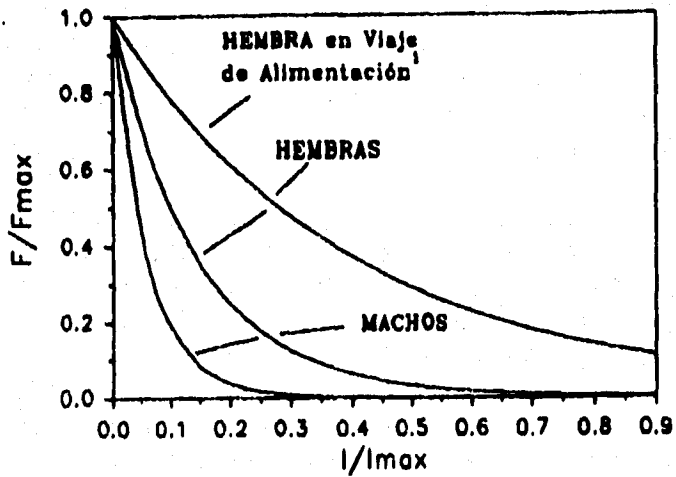


FIGURA 14.- Curvas normalizadas de las frecuencias de duración de los intervalos de superficie de las diferentes categorías de lobo marino, que se presentan en dos gráficas para facilitar la lectura de las gráficas. I: intervalo en superficie; I_{max} : intervalo máximo en superficie; F: frecuencia del intervalo; F_{max} : frecuencia máxima del intervalo.
 1 Feidkamp y cols., 1989.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

DINAMICA DE LA FRECUENCIA CARDIACA

Se realizaron una serie de análisis preliminares para describir en términos generales los cambios en la FC durante los períodos de inmersión (buceo) y emersión (superficie), ya que no existen antecedentes en la literatura de este tipo de registro en críos de lobo marino. Los análisis consistieron en separar los eventos de inmersión de los de superficie y se construyeron gráficas espacio fase, como no se encontraron diferencias en los atractores ni en los valores alrededor de los cuales oscilaban los atractores en cada una de las dos condiciones, se procedió a hacer el análisis de la distribución de los datos calculando para ello los parámetros básicos como media y desviación estándar para cada condición, además de análisis gráficos como diagramas de caja, histogramas de frecuencia, gráficas tallo y hoja. Como resultados de estos análisis no se encontraron diferencias significativas entre las dos condiciones. Con los datos de los registros 17, 18 y 33 se hicieron gráficas de frecuencia promedio y duración de las inmersiones, en estas no se encontró relación entre la duración de la inmersión y los cambios en FC. Para describir los cambios en FC durante el buceo, se calculó el valor promedio de FC para cada animal, y para calcular el valor que se iba a considerar como umbral de bradicardia se promediaron los valores mínimos de cada inmersión para cada registro. Se determinaron los períodos de inmersión con bradicardia y la FC promedio de cada uno de esos períodos. Lo mismo se hizo para los períodos de superficie ya que en algunos se encontraban valores que rebasaban el umbral de bradicardia. En la figura 15 se presenta un fragmento de una gráfica frecuencia tiempo donde se encuentran marcados los episodios de inmersión en la gráfica superior como barras negras, el valor promedio de la FC (\bar{x}) y el valor que se determinó como umbral de bradicardia (u). Nótese como la FC es muy irregular y en general las duraciones de las inmersiones son menores al tiempo de latencia de la bradicardia (7 s). Se aplicó la prueba de t de Student a estos dos grupos de datos y mostró que los datos del valor calculado como umbral de bradicardia pertenecía a una población diferente de la de los valores en superficie con un valor de significancia de $p < 0.05$.

En la Tabla 5 se muestra el porcentaje de tiempo en bradicardia para los registros 17 (R17), 18 (R18) y 33 (R33). Se encontraron bradicardias en superficie asociadas a períodos de inmersión, de manera que se presentaban inmediatamente antes o inmediatamente después de esta, además de las bradicardias no asociadas a inmersión. En el R17 las bradicardias en superficie no estuvieron asociadas a inmersión, y el porcentaje de tiempo en bradicardia durante inmersión es mucho más pequeño, que el que presenta en superficie que es casi tres veces mayor. En el R18 no hay bradicardias en superficie antes de la inmersión, y las bradicardias en superficie posteriores a la inmersión representan una pequeña parte del porcentaje total de tiempo en bradicardia en superficie, además en este registro el tiempo de bradicardia en inmersión es un poco mayor que en superficie. En el R33 que es el que cuenta con mayor duración y por lo tanto mayor número de datos se encuentran las tres modalidades de bradicardias en superficie, el valor del porcentaje de tiempo de bradicardia posterior a la inmersión es mayor y casi la sexta parte del tiempo total de bradicardia en superficie. Nuevamente la proporción de tiempo en bradicardia en inmersión es mayor que en superficie.

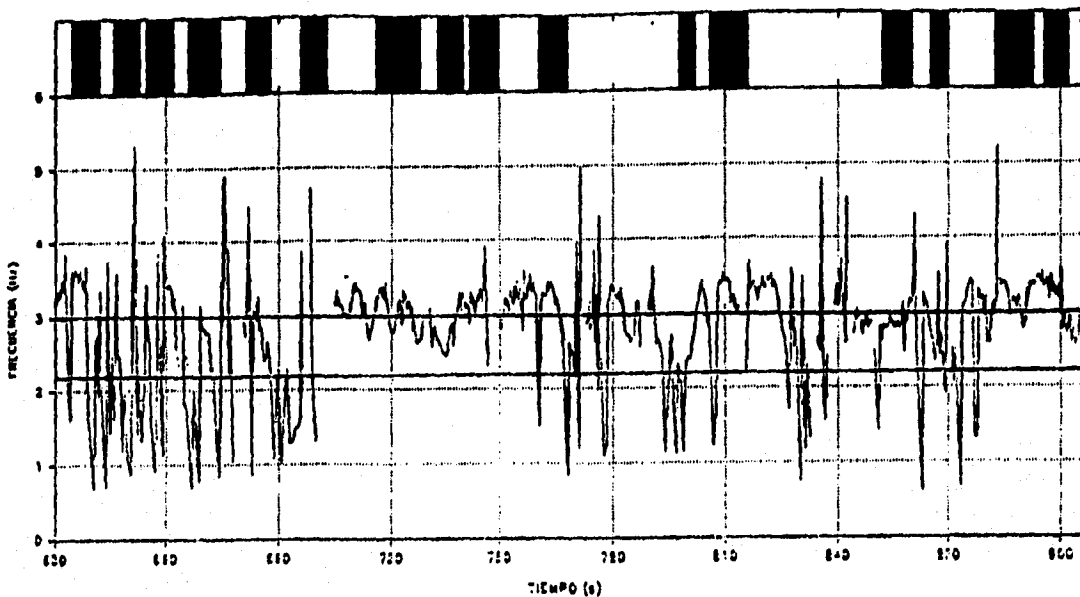


FIGURA 15.- Cambios en FC de un crío (R33), el promedio de los valores de FC corresponde al valor \bar{x} , y \bar{u} al valor umbral de bradicardia calculado (ver texto). Los espacios en blanco de la curva F vs T corresponden a datos faltantes

TABLA 5.- PORCENTAJE DE TIEMPO EN BRADICARDIA DE R17, R18 Y R33 DE CRIOS DE LOBO MARINO.

No. DE REGISTRO	17	18	33
TIEMPO TOTAL DE REGISTRO	385	553	1887
TIEMPO TOTAL EN SUPERFICIE (s)	310	314	1400
% EN BRADICARDIA EN SUP TOTAL	2.14	2.48	6.24
% EN BRADICARDIA SUP	....	2.18	4.6
% EN BRADICARDIA S/I	....	....	0.59
% EN BRADICARDIA I/S	....	0.32	1.05
TIEMPO TOTAL EN INMERSION	75	139	478
% EN BRADICARDIA INMERSION	0.8	3.19	7.34

Nota: Las BRADICARDIAS SUP corresponden a las bradicardias en superficie no asociadas a inmersiones, las BRADICARDIAS S/I corresponden a las bradicardias que se presentaban al salir de una inmersión y las BRADICARDIAS I/S corresponden a las bradicardias previas a la inmersión.

Estos análisis permitieron distinguir la respuesta al buceo en los críos como un proceso diferente al descrito para el adulto. Los datos anteriormente expuestos parecen indicar que en los críos de lobo marino el patrón de buceo es un factor externo que influye de manera determinante sobre la respuesta cardíaca al buceo por lo que se decidió relacionar el análisis del patrón de buceo con los cambios en FC. Por esta razón se decidió no comparar los datos de cada inmersión contra los de superficie sino que se relacionó con el patrón de buceo de los críos y las comparaciones se establecieron entre los episodios de buceos calculados como se describió anteriormente contra los episodios de superficie. Se elaboraron gráficas espacio fase de los episodios de buceo y los períodos en superficie, como puede observarse en la Figura 16, se presentan atractores extraños tanto en los episodios del buceo como en los de superficie, las variaciones en las formas son debidas al número de datos con los que se cuenta para cada caso, coincidentemente con lo observado con respecto a la frecuencia de aparición de la bradicardia, es notable el que no se observan cambios en FC durante las inmersiones con respecto a la FC en superficie.

Se calculó para cada episodio de buceo la DF y se le hizo un periodograma a partir del cual se determinó el valor de alfa. En la Tabla 6 se muestran los 5 registros de críos de lobo marino con el promedio de la DF, y el alfa en buceo y superficie. También se señalan los valores promedio de DF y alfa para todos los registros. Nótese que la DF disminuye ligeramente durante el buceo al contrario de alfa que tiene un pequeño incremento.

TABLA 6.- DIMENSION FRACTAL Y ALFA CALCULADAS PARA LAS CONDICIONES DE SUPERFICIE Y EPISODIOS DE BUCEO PARA 5 CRIAS DE LOBO MARINO

No. REGISTRO	DF (SUP)	ALFA (SUP)	DF (BUCEO)	ALFA (BUCEO)
17	1.6	1.75	0.47	0.509
18	1.77	1.62 ± 0.16	0.609	0.582 ± 0.2
24	1.74	1.63 ± 0.08	0.322	0.451 ± 0.48
28	1.99	1.62 ± 0.15	-0.269	0.512 ± 0.39
33	1.69	1.70 ± 0.02	0.763	0.740 ± 0.05
PROMEDIO	1.74 ± 0.05	1.66 ± 0.04	0.489 ± 0.14	0.590 ± 0.30

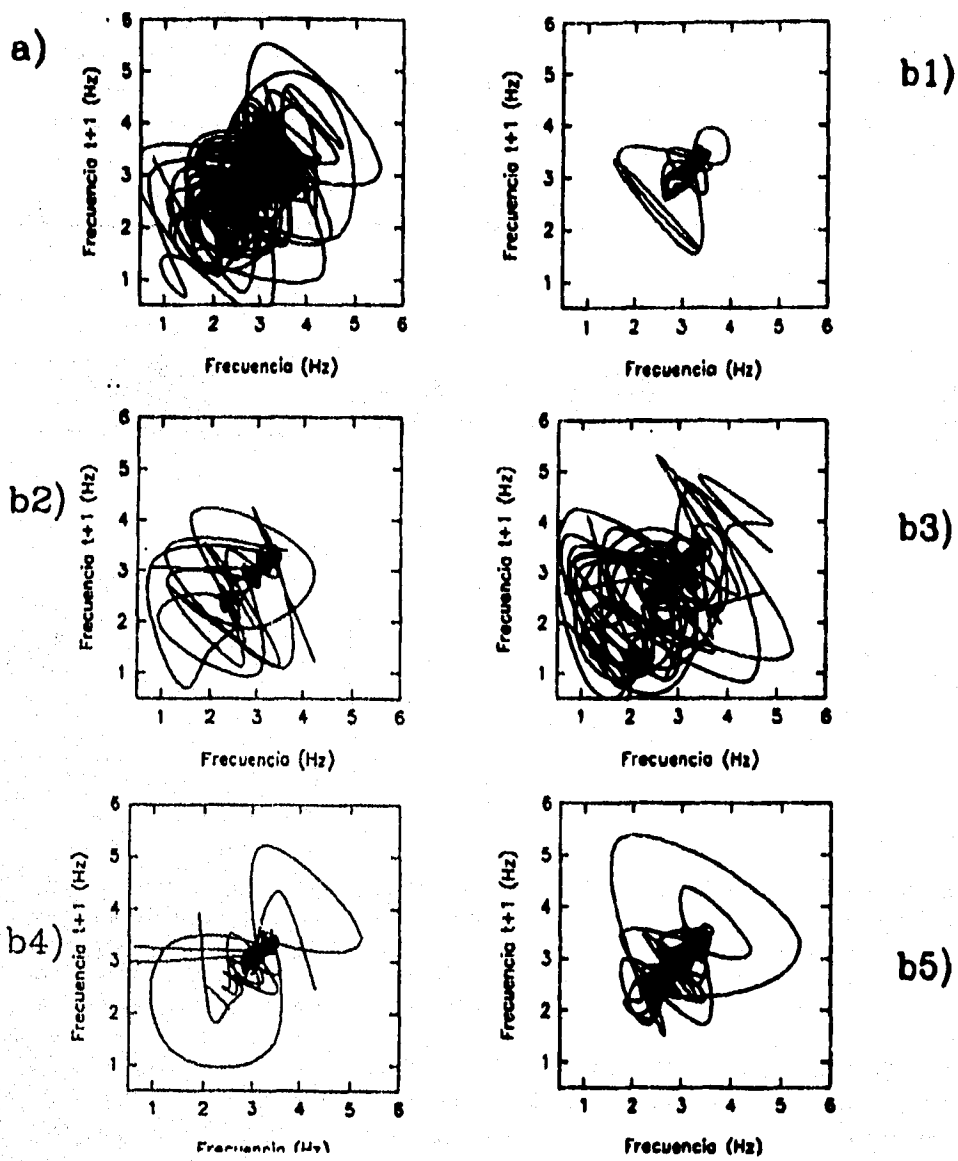


FIGURA 16.- Espacios fase de los episodios de superficie y de buceo del R33: a) superficie, b1-b5) buceo.

Para el humano se realizaron análisis semejantes. En la Figura 17 se muestra una parte de un registro de humano (RH3) donde puede apreciarse el aumento en la FC debida a la hiperventilación previa a la inmersión, cómo disminuye rápidamente y se estabiliza durante la inmersión y al finalizar ésta la FC vuelve a aumentar hacia los valores iniciales. El valor de latencia de bradicardia es de 14 seg pero varía dependiendo si el sujeto hacía hiperventilaciones o no y del tiempo que durara hiperventilando. Cada sujeto experimentó una reducción de su FC debida al buceo, estas reducciones fueron muy variables, RH1 de 5%; RH2 de 25% y RH3 de 27.4%, el promedio fue de 19.13%. Para estos cálculos fueron desechados los períodos de taquicardia ocasionados por la hiperventilación y la salida del buceo.

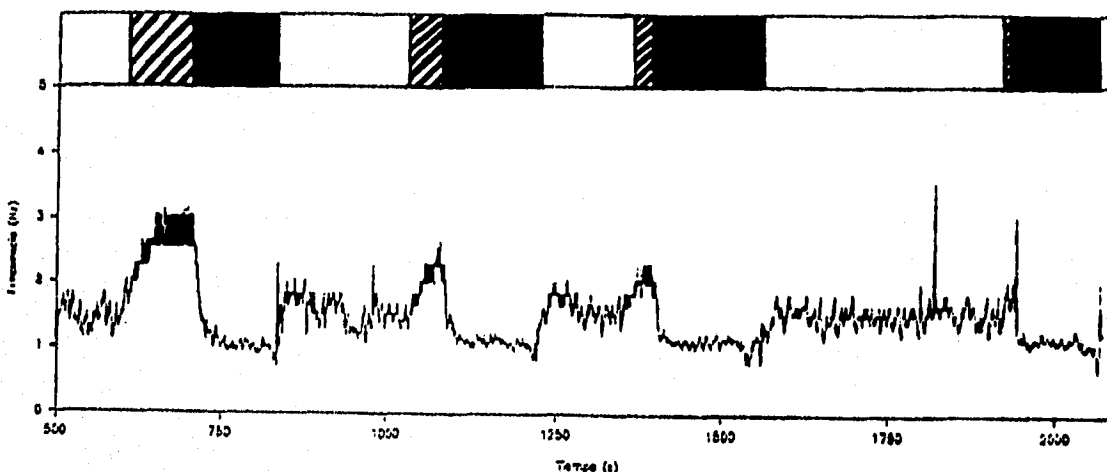


FIGURA 17.- Fragmento de un registro de humano, RH3. En la gráfica superior se muestra el patrón de buceo, las barras rayadas representan la fase de hiperventilación y las barras negras la fase de buceo, los espacios blancos representan los períodos de superficie. La gráfica inferior es frecuencia vs tiempo, puede apreciarse como aumenta la FC durante la hiperventilación y como disminuye durante la fase de buceo por valores menores a los que se presentan cuando el sujeto se encuentra en superficie.

Las gráficas espacio fase Figura 18 muestran diferencias en la forma del atractor, se aprecia cambio en la región del atractor en el espacio fase de las inmersiones, que se desplaza hacia valores de menor frecuencia debido a la bradicardia por buceo. En la Tabla 7 se muestran los valores obtenidos para la DF de cada registro en superficie y en inmersión, al igual que las alfas calculadas en cada caso. También se incluyen los valores promedios de DF y alfa del total de registros. Al igual que en los críos de lobo marino, la DF disminuye durante la inmersión con respecto a su valor en superficie mientras que alfa se incrementa ligeramente.

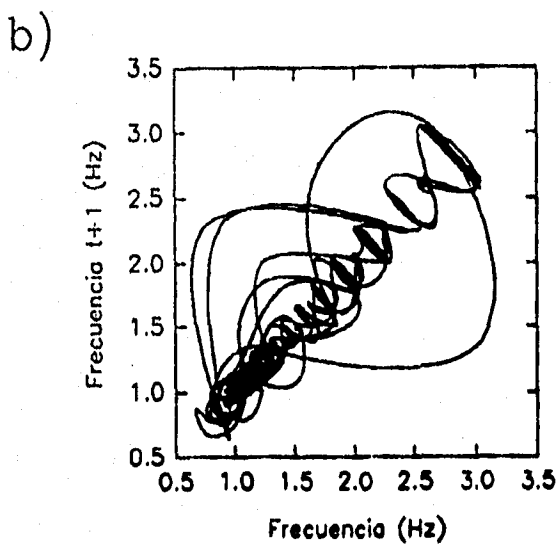
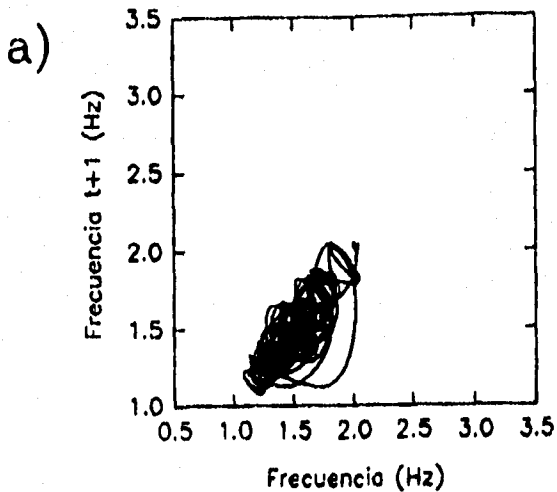


FIGURA 18.- Gráficas espacio fase del RMS, a) superficie, b) buceo. El cambio en la forma del atractor se debe a la taquicardia de la hiperventilación previa a cada inmersión y el desplazamiento del atractor se debe a la bradicardia por buceo.

TABLA 7.- DIMENSION FRACTAL Y ALFA CALCULADAS PARA LAS CONDICIONES DE SUPERFICIE Y EPISODIOS DE BUCEO PARA 3 HUMANOS

REGISTRO	EDAD	DF (SUP)	DF (BUCEO)	ALFA (SUP)	ALFA (BUCEO)
RH1	25	1.901	1.905	0.310	0.251
RH2	32	1.87	1.68	0.873	1.33
RH3	25	1.53	1.47	1.00	1.42
PROMEDIO		1.767 ± 0.12	1.685 ± 0.13	0.756 ± 0.24	0.985 ± 0.39

DISCUSION

DINAMICA DEL BUCEO.

Los lobos marinos presentan diferencias en sus patrones de buceo debidas a las diferencias metabólicas y conductuales que tienen las diferentes categorías de sexo-edad. Como puede observarse en las gráficas de las figuras 8a y 8b, los animales de mayor tamaño presentan un mayor tiempo de apnea y una menor tasa ventilatoria, y estos parámetros varían alométricamente de acuerdo a la categoría de que se trate, conforme disminuye el tamaño la duración de apnea disminuye y la tasa ventilatoria aumenta. Esta variación de acuerdo a la categoría se mantiene para la duración de los episodios de buceo, que fue calculada una vez que se determinó la duración del intervalo de superficie que marcaba su fin. Sin embargo el porcentaje de apnea asociado a cada tren o episodio de buceo es semejante en machos, hembras y juveniles como se muestra en la figura 13b, con un promedio de 89.92 s; los críos VL y los críos ECG tienen menor porcentaje de apnea, esto puede deberse a que sus buceos se desarrollan en aguas someras, los animales se encuentran generalmente con otros jugando y salen a la superficie constantemente; en cambio los adultos tienen conductas asociadas al descanso, principalmente se encuentran flotando en agua, los juveniles se encuentran en aguas más profundas y sus juegos involucran mayor actividad de buceo. Además entre las dos categorías de críos existen diferencias de más del 30% en su porcentaje de apnea como consecuencia del estrés asociado a la manipulación de los animales para el registro del ECG.

Como puede observarse en la Figura 10, la correlación del cálculo de la tasa metabólica relativa (TMR), a partir de la tasa ventilatoria, con otros dos métodos de estimación de la TMR es suficientemente buena, por lo que se propone que este método sea empleado para observaciones en el campo, con la restricción de que los animales deben encontrarse en buceo, ya que se ha descrito (Williams y cols., 1991) que los lobos marinos presentan arritmias respiratorias en superficie, y éste cálculo sólo es válido para animales que respiran periódicamente, además de que es muy difícil percibir los movimientos torácicos respiratorios de los animales cuando se hallan en tierra. Este método es complementario al uso de dispositivos eléctricos para registro de buceo, como los "Time-Depth Recorders" (TDRs) y puede sustituir, con las limitaciones señaladas, a los otros métodos indirectos de estimación de TMR.

El LBA fue calculado a partir de datos bibliográficos para todas las categorías con el fin de comprobar que los cálculos e inferencias que se realizaron estuvieran dentro de los márgenes del metabolismo aerobio. De esta manera, se determinó que las diferencias entre los críos VL y críos ECG son debidas a parámetros conductuales y no a restricciones fisiológicas, ya que al tener un LBA superior a 3 min, puede descartarse que la corta duración de las inmersiones que realizaban los críos ECG durante los registros fueran debidas a un consumo mayor de O₂ del que tienen en sus reservorios. Es de esperarse que el consumo de O₂ efectivamente aumentara

durante los registros a causa del estrés que estos representan para los animales, pero difícilmente los animales estuvieron cerca de rebasar su LBA. También se ha descrito (Kooyman y cols., 1983) para crías de foca de Weddell, que los buceos que presentan son someros y, a partir de mediciones de ácido láctico en sangre, se demuestra que los cambios de concentración de este metabolito tienen una relación positiva con el peso, lo que apoya las inferencias sobre el metabolismo del buceo que se hicieron utilizando las medidas de peso y el cálculo del LBA. Por otra parte Elsner y cols. (1986) reportan que los animales juveniles son considerablemente más resistentes a la asfida que los animales adultos por lo que esto también apoya la idea de que los críos no se encuentran cercanos a su LBA y no hay razón fisiológica clara que determine el tamaño de las inmersiones registradas.

A partir de los datos mostrados en la Figura 14 y la tabla 4 la interpretación anterior se ve fortalecida ya que los cambios de pendiente en las curvas CFB normalizadas de las diferentes categorías corresponden con los gastos metabólicos debidos a las diferentes conductas durante el buceo. Las diferencias en pendiente que se encuentran entre las hembras en viaje de alimentación (Feldkamp y cols., 1989) y las hembras en los territorios son debidas a las actividades que se desarrollan en una y otra condición, ya que las hembras en viaje de alimentación desarrollan gran actividad pues deben desplazarse para buscar alimento, capturar sus presas y regresar para alimentar a su crío. Para las hembras en los territorios, durante las fechas del estudio, su actividad acuática principal era descansar en grupos de flotación, es decir una actividad de bajo gasto metabólico. Para una descripción completa del patrón de buceo de hembras de lobo marino se debe recapitular sobre lo observado durante los períodos de actividad y los períodos de descanso ya que en cierta forma los períodos de descanso son la contraparte de los períodos de mayor actividad, esto puede ser importante para tener una mejor idea de la forma en que las hembras mantienen su balance energético durante la temporada reproductiva.

Los machos, que durante la temporada reproductiva no salen a alimentarse ya que deben defender sus territorios y copular con sus hembras (García, 1992), emplean el mayor tiempo posible en actividades de bajo costo energético y son los que presentan la menor pendiente, en cambio, los críos VL presentan una mayor pendiente como es de esperarse por su metabolismo basal y las actividades de juego que realizan durante su permanencia en el agua. Aunque los juveniles también realizan actividades de juego en el agua, su pendiente es mayor a la de los críos VL como consecuencia de que presentan más actividades subacuáticas y debido a esto también es mayor a la de las hembras, además de que tienen una tasa metabólica relativa mayor que éstas. Las diferencias en la pendiente entre críos VL y críos ECG, son debidas a las condiciones de registro que ocasionaban estrés al animal, debido a que cuando hay una situación de estrés hay mayor gasto de O_2 y por lo tanto mayor gasto metabólico.

El análisis de las gráficas CFB presenta dificultades ya que se requiere de registros largos para tener los datos suficientes y encontrar los cambios en pendiente ya que no fue posible encontrar en todos los casos el segundo cambio en pendiente que marca la duración del intervalo de superficie que representa el fin de un episodio de buceo. Se sugiere que para estudios posteriores los seguimientos sean lo suficientemente largos como para que haya mayor posibilidad de encontrar varios episodios de buceo completos.

Todas las categorías sexo-edad de lobo marino bucean en episodios, Figura 11, sus gráficas de decaimiento exponencial de la frecuencia de los intervalos en superficie, Figura 14, son semejantes entre sí y éstas son semejantes a la de las hembras en viaje de alimentación descritas por Feldkamp y cols. (1989), además de que el porcentaje de tiempo en apnea por episodio o tren de buceo para las categorías de machos, hembras y juveniles son muy parecidos. Todo esto apunta a que el patrón de buceo de las categorías es el mismo al que presentan las hembras en viaje de alimentación pero en otra escala de tiempo. Esto es importante ya que parece indicar que los mecanismos que determinan el patrón de buceo aparecen desde edades tempranas y las diferencias son debidas a aspectos metabólicos y conductuales dependientes del sexo y la edad del animal, siendo más importantes los aspectos conductuales que las restricciones fisiológicas como demostraron Feldkamp y cols. (1989) para las hembras de lobo marino en viaje de alimentación; además de que valida el estudiar el buceo de los críos desde el punto de vista de los episodios de buceo más que analizar inmersiones y superficies aisladas.

Estos datos también señalan que probablemente el patrón de buceo de los lobos marinos puede ser estudiado como un fenómeno que presenta una estructura fractal, ya que presenta el fenómeno de autosimilitud cuando se analiza a diferentes escalas de tiempo. Sin embargo, este análisis no se realizó porque no estaba contemplado en las hipótesis originales del trabajo y no se contaba con un protocolo adecuado para la toma de datos.

DINAMICA DE LA FRECUENCIA CARDIACA

Para animales adultos se ha reportado que los cambios en FC dependen de la duración y condición de la inmersión, esto no se observa en los críos ya que con las aproximaciones de la estadística tradicional no se encontraron diferencias significativas entre los períodos de inmersión aislados y los de superficie, ya que como puede observarse en la Figura 15 no hay bradicardias sostenidas por buceo y la frecuencia de aparición de éstas, aunque aumenta ligeramente durante las inmersiones (Tabla 5), no es significativa (prueba de t de student, $p < 0.05$).

Thompson y Fedak (1993) demostraron que la FC disminuye en función de la duración del buceo, y en la descripción del patrón del buceo de los críos, se encontró que presentan inmersiones con duración menor a la latencia de la bradicardia por buceo (7 s), es por esta razón por la que no se encuentra la respuesta semejante a la que se ha reportado para adultos, además de que aún en estos, la disminución de la FC durante el buceo es del 15% (Williams y cols., 1991).

Se decidió estudiar los cambios en la FC en términos de los episodios de buceo debido a la complejidad del patrón de buceo de los críos, y al hecho de que se presentan bradicardias previas a la inmersión como respuestas anticipatorias que no se mantienen y las bradicardias posteriores como respuestas retardadas a la inmersión, es importante resaltar que estas bradicardias son de mayor magnitud que el 15% descrito para los adultos pero, son muy cortas (Figura 15). Como se mencionó anteriormente, el patrón de buceo parece tener una estructura fractal y por lo tanto podría ser considerado como un fenómeno caótico y, cómo el patrón de buceo influye en las respuestas cardiovasculares es factible que, siendo el patrón de buceo caótico, contribuya al carácter patrón caótico de la FC que se observa en los datos que se presentan en este trabajo y que a continuación se discuten.

No se encontraron cambios en la forma del atractor debidas a otra cosa que al número de datos que con los que se contaba para las gráficas espacio fase de las inmersiones, tal como se observa en la Figura 16, esto es importante ya que aparentemente la condición del buceo no modifica el comportamiento del corazón, lo que es coherente con lo esperado para un mamífero libre buceador, aunque se debe señalar que sería interesante comprobar este fenómeno con un animal de mayor edad en el que se presente la bradicardia por buceo. Sin embargo, la forma del atractor no es suficiente para su caracterización, por lo que se calculó la DF y el alfa correspondiente para la condición de superficie y la de buceo y tampoco se encontraron diferencias aparentes para ninguno de los dos valores como se puede observar en la Tabla 6, aún cuando la DF disminuyó en 4.6% durante el buceo y el valor alfa tuvo un incremento de 17.12% con respecto al valor en superficie sin embargo estos cambios no son estadísticamente significativos (prueba t de Student $p < 0.05$).

Los humanos presentan cambios en la misma forma pero de diferente magnitud ya que la dimensión fractal también disminuye pero en un 6.34% y el valor de alfa aumenta en un 30.29%, en este caso las diferencias tampoco son estadísticamente significativas (prueba t de Student $p < 0.05$) debido a que la desviación estándar es muy grande, además en ellos sí se pueden apreciar cambios en los atractores de las dos condiciones, superficie y buceo, tanto en la forma; pues el área del atractor se observa más restringida a pesar de las frecuencias elevadas por la presencia de la taquicardia anticipatoria a la salida del buceo y la ocasionada por la hiperventilación; como en la zona que ocupa ya que por la bradicardia del buceo se ve desplazada hacia valores de frecuencias menores (ver Figura 18). Los resultados obtenidos en este trabajo confirman la hipótesis del carácter caótico de la dinámica del la FC en humanos saludables y esta afirmación es válida también para los críos de lobos marinos. Los cambios asociados a la inmersión no afectan de manera dramática a la FC, contradictoriamente a los resultados que se obtuvieron en los experimentos previos al trabajo, la explicación a estas discrepancias están dadas, posiblemente, por las diferentes respuestas que han sido descritas para los humanos durante el reflejo de buceo, ya que se han encontrado que en algunos humanos, aproximadamente el 50% presentan arritmias cardíacas (Hong y Rauh, 1987), que Goldberger y Rigney (1990), reportan que pueden producir los cambios en la dinámica del la FC semejantes

a los relacionados con el arresto cardíaco (ver Figura 5), en este estudio. A causa de la forma en que se obtuvo el registro de ECG, no se analizó la aparición de dichas arritmias, aunque si estas efectivamente son las causantes de los cambios en la dinámica de la FC y en los datos (gráficas espacio fase, DF y alfa) que se presentan y no existen dichos cambios, es factible suponer que los sujetos experimentales no presentaron dichas arritmias.

La variabilidad de la respuesta entre los sujetos, particularmente entre el RH1 con los otros dos; y a partir de los resultados contradictorios de Paulev y cols. (1993) con los de Shölander (1964) y los de Eisner y cols. (1966) con respecto a la aparición de la bradicardia por buceo en cuanto si aparece preferencialmente cuando el sujeto inspira o exhala antes de la inmersión; se debe a la influencia del sistema nervioso autónomo en la FC ya que este es un factor causal de gran variabilidad en esta respuesta, que se refleja en los datos que aquí se presentaron ya que mientras el RH1 prácticamente no presentó cambios, los RH2 y RH3 presentaron cambios un poco más importantes tanto en DF como en el valor alfa, sin que llegaran a ser tan drásticos como son cuando se presentan patologías cardíacas.

Debido a que la DF es un estimador de cómo un atractor llena el espacio fase y de la complejidad del fenómeno, la disminución de este valor se interpreta como una disminución de la complejidad, lo que significa que durante el buceo si bien se presenta una disminución de la complejidad de la FC, esta no llega a valores que puedan ser considerados como patológicos, nótese que en los humanos este cambio es ligeramente mayor (1.74%) que en los críos de lobo marino, lo que puede tener una explicación ontogénica y adaptativa, ya que es posible que los críos no hayan desarrollado todas las conductas asociadas al buceo ni tampoco las vías involucradas en la respuesta al buceo y que el cambio no sea más acentuado por la adaptación de estos animales a la vida acuática.

El valor alfa es una forma de estimar la relación que existe entre los datos, cuando estos son producto del azar se presenta ruido blanco y la pendiente del espectro de potencia (alfa) es cercana a cero, cuando se presenta una pendiente mayor a 1 se tiene ruido browniano, donde se presenta dominancia de un tipo de frecuencia semejante a lo que presenta un fenómeno oscilatorio; pero cuando la pendiente tiende a 1, los datos son caóticos y se encuentra una amplia gama de frecuencias en el espectro de potencia ("Broad band spectrum" Goldberger, 1990). El aumento de este valor en las condiciones de buceo tanto en los críos como en los humanos puede deberse a respuestas compensatorias a la disminución de la DF, ya que la FC es modulada por varios factores extrínsecos e intrínsecos; cada uno de estos puede influir de manera diferente en los cambios en la dinámica cardíaca, y la variación, aparentemente en sentido opuesto de la DF y la alfa, puede ser que los diferentes factores involucrados en la respuesta al buceo se vean reflejados como estos cambios diferentes en alfa y en la DF, que son una disminución de la complejidad y aumento en el ancho de la banda de frecuencias.

El hecho de que las variaciones de DF y del alfa sean en el mismo sentido tanto en humanos como en los críos es atribuible al que los mecanismos regulatorios de la FC son equivalentes.

CONCLUSIONES

Las diferentes categorías de sexo-edad de lobo marino en los territorios reproductivos presentan el mismo patrón de buceo, ya que todas bucean en episodios y el porcentaje de apnea por episodio es semejante. Las diferencias que se presentan son debidas al gasto metabólico de cada categoría, que varía dependiendo de aspectos fisiológicos, alométricos y principalmente conductuales que se presentan durante el buceo.

El estrés asociado al registro del ECG (captura y manipulación de los críos) ocasiona variaciones en el patrón de buceo durante el registro con respecto al observado en vida libre, el estrés puede evaluarse mediante los cambios en la tasa metabólica relativa.

Al normalizar las escalas de tiempo en que se estudió el patrón de buceo para este trabajo y el reportado por Feldkamp y cols. (1989), se encuentra que el patrón de buceo es muy semejante y parece presentar una estructura fractal con cambios dependientes de las diversas actividades que se realizan dentro y fuera de los territorios reproductivos.

La tasa ventilatoria de los lobos marinos que se observa durante el patrón de buceo es un buen estimador de la tasa metabólica relativa del buceo.

La respuesta al buceo de los críos está influenciada de manera importante por su patrón de buceo y es diferente de la respuesta que presentan los animales adultos.

En los críos no hay cambios estadísticamente significativos ni para α ni para la DF y tampoco se observan cambios en el atractor lo que significa que el buceo no afecta de manera significativa la dinámica de la FC, debido a que la FC no se modifica consistentemente con los eventos de superficie y de inmersión.

En humanos se observan cambios en el espacio fase que involucran la forma del atractor y la zona que ocupa, y si bien no hay cambios estadísticamente significativos en los valores de DF y de α , el buceo puede considerarse como un factor externo que produce alteraciones en la dinámica de la FC.

La dinámica de la FC es resultado de complejas interacciones de factores intrínsecos y extrínsecos y por ello es posible que si hay variación en algunos de los factores involucrados se presenten cambios compensatorios de manera que la dinámica caótica de la FC pueda mantenerse, estas compensaciones se manifiestan como aparentes contradicciones en el comportamiento de los estimadores (DF y α) de la medida de que tan caótico es un sistema.

La respuesta al buceo en humanos se ha documentado desde 1966 con los estudios de Schölander y Elsner, sin embargo los resultados obtenidos por Paulev y cols. (1993), indican que existe una gran variabilidad y contradicciones en como se da la bradicardia por buceo, por lo que esos análisis deben ser considerados al plantear nuevos protocolos de estudio del reflejo de buceo.

APENDICES

CURVAS DE FRECUENCIA vs TIEMPO

Los datos obtenidos como valores del intervalo de tiempo transcurrido entre un latido y el siguiente, es decir se obtienen valores de período (T). Ya que la frecuencia (F) es el inverso del período $F = 1/T$, se transforman los valores de período a valores de frecuencia. Como las unidades del período son segundos y al hacer la conversión a frecuencia se obtiene ciclos/segundo y como 1 ciclo/seg equivale a 1 Hz, las unidades de frecuencia son Hz, ejemplo:

PERIODO (s)		FRECUENCIA (Hz)
0.68	1/0.68	1.47
0.60	1/0.60	1.67
0.53	1/0.53	1.89
0.61	1/0.61	1.64
0.50	1/0.50	2

Para hacer el cálculo del tiempo en que ocurre cada latido se va sumando el período de la siguiente manera:

PERIODO (s)	FRECUENCIA (Hz)		TIEMPO ACUMULADO (s)
0.68	1.47	0 + 0.68	0.68
0.60	1.67	0.68 + 0.60	1.28
0.53	1.89	1.28 + 0.53	1.81
0.61	1.64	1.81 + 0.61	3.42
0.50	2	3.42 + 0.50	3.92

De esta manera ya procesados los datos, se construye la curva de frecuencia vs tiempo, en la que se muestra cómo es el comportamiento de la frecuencia en el transcurso del tiempo, a partir de esta gráfica puede calcularse el valor alrededor del cual oscilan los datos, cuáles son y dónde están los valores máximos y mínimos. Además el cambio en frecuencia se puede asociar a eventos como inmersiones cuando se hace una gráfica accesoria que queda en la parte superior de la gráfica frecuencia vs tiempo y tiene la misma escala en el eje de las "x" y se marcan con barras negras los momentos en que ocurrió la inmersión.

ESPECTROS DE POTENCIAS

Las señales obtenidas de un registro suelen ser señales complejas en las que la señal útil está mezclada con ruido, que es la señal no deseada. Para el análisis se utilizan ciertas características que se puedan medir y clasificar para escoger un grupo de datos. El ruido tiene elementos periódicos, que se repiten a intervalos regulares de tiempo, y elementos azarosos, como perturbaciones externas.

Para el análisis de una señal son importantes el ancho de la banda de frecuencias, el largo de la señal y la amplitud, ya que con estos se determina la frecuencia de muestreo.

La frecuencia de muestreo debe definirse en términos de las frecuencias mayores que se van a emplear para la reconstrucción de la curva. La señal debe de ser muestreada al menos al doble de la frecuencia más alta que se encuentre en la señal.

El teorema de Fourier se basa en la teoría de que cualquier onda puede ser simplificada en funciones senos y cosenos que correspondan a sus ondas armónicas. La representación en series de Fourier de una función es la suma de componentes senusoidales que tiene diferentes frecuencias, a esos componentes se les llama *armónicas de la función periódica*, la primera armónica se conoce como el *componente fundamental* porque tiene el mismo período de la función.

Una función $f(t)$ no periódica, definida en cierto intervalo finito $(0,t)$, se puede desarrollar en una serie de Fourier, la cual está definida solamente en el intervalo $(0,t)$. Es posible desarrollar $f(t)$ en una serie de Fourier con cualquier frecuencia fundamental deseada (Shu, 1980).

Dado que las ondas complejas pueden ser expresadas en términos de su frecuencia, amplitud y fase, la amplitud y la fase de cada componente de frecuencia puede variar, de manera que una forma conveniente de describir una onda compleja es graficar la amplitud y la fase en términos de la frecuencia del componente, estas gráficas se conocen como *espectro de amplitud* y *espectro de fase*.

Como la amplitud guarda una relación directa con la potencia de la frecuencia, también se suele transformar la amplitud en potencia y entonces la gráfica se conoce como espectro de potencia, donde el eje x representa una serie de bandas de frecuencia (Hz) finitas y en el eje y la potencia de cada banda.

En el programa Statgraphics^{MR} a los datos se les hizo el periodograma, que es la función más parecida al espectro de potencia y los datos transformados fueron procesados por SigmaPlot^{MR} para ajustar el espectro a la función $P(f) \propto 1/f^\alpha$ y calcular la pendiente del espectro, alfa (α), este valor es un indicador del tipo de relación entre los datos, ya que cuando su valor se aproxima a 1 se asocia a fenómenos caóticos, cuando es menor de 1 se asocia a ruido blanco (fenómenos azarosos) y a ruido browniano cuando es mayor de 1.

DESCRIPCION DEL ESPACIO-FASE

Para describir el estado de un sistema que cambia en el tiempo es necesario especificar todas las variables independientes que se presentan en un momento dado, por ejemplo, para determinar el estado instantáneo de un péndulo se requiere especificar la altura del péndulo y su posición angular equivalente.

El estado instantáneo se representa como un punto, conforme transcurre el tiempo el sistema cambia y por lo tanto cambia el estado y se mueve el punto, uniendo los puntos se dibuja la trayectoria que describe la evolución del sistema (West, 1990; Sanna, 1994).

Estas gráficas espacio fase se pueden construir utilizando el método de los mapas de retraso, para el mapa de retraso más sencillo cada punto de la gráfica corresponde al valor de una variable después de un tiempo de retraso, a partir de estos puntos se traza la trayectoria. En la gráfica espacio fase puede observarse que existe un área hacia la cuál tienden todas las trayectorias, esta área puede tener diferentes formas y se llama atractor, existe una clasificación de formas de atractores en relación al tipo de sistema al que describen:

a) El atractor puntual, que describe sistemas que se mantienen en un mismo estado y por lo tanto sus trayectorias se aproximan a un mismo punto en el tiempo;

b) Los círculos límites, describen sistemas que tienen estados periódicos cuyas trayectorias siguen un camino regular que puede ser circular, elíptico o cualquier otra forma cíclica y se dice que oscilan alrededor de cierto valor;

c) Los atractores extraños, describen sistemas en los que dos trayectorias que comienzan bajo casi las mismas condiciones iniciales divergen a corto plazo y son completamente diferentes a largo plazo; forman figuras geométricas extrañas, la dinámica de estos atractores es caótica (Devaney, 1990; Goldberger y cols. 1990; West, 1990).

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

Se empleó el programa Sigma Plot^{MR} para construir las gráficas espacio fase necesarias para los análisis en este trabajo graficando los valores de frecuencia contra ellos mismos desfasados por un valor, por ejemplo:

FRECUENCIA _t	FRECUENCIA _{t+1}
1.47	1.67
1.67	1.89
1.89	1.64
1.64	2
2	.
.	.

CALCULO DE DIMENSIONES

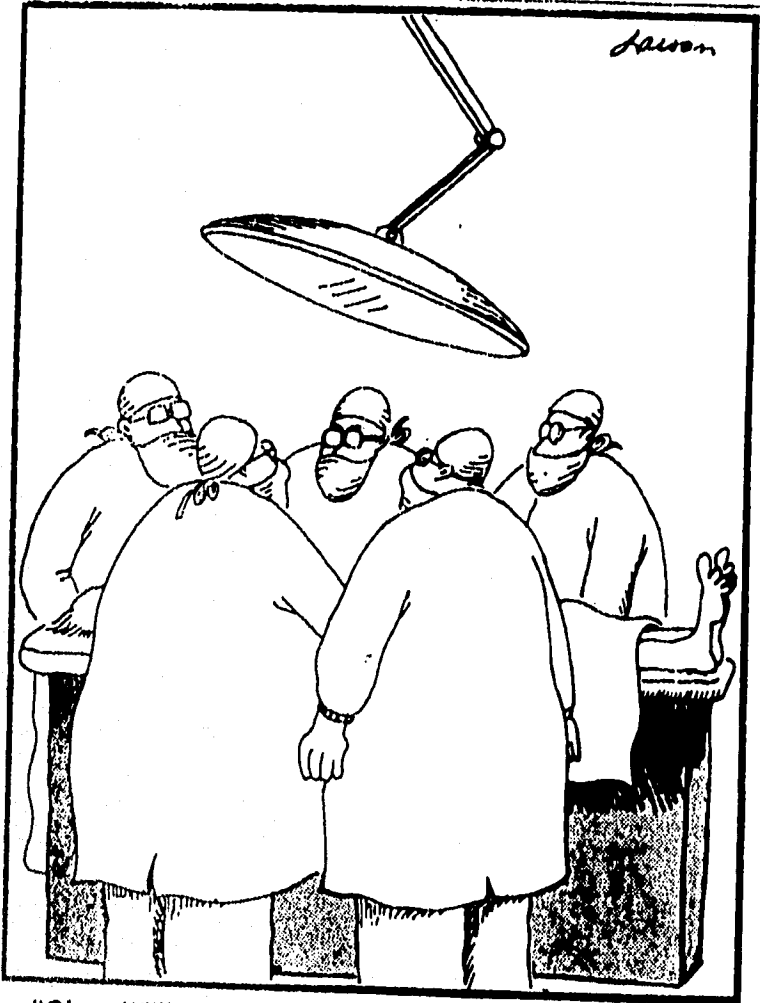
Las relaciones que dependen de la escala tienen profundas implicaciones en fisiología: se reconoce que la masa se incrementa como el cubo de la dimensión lineal, pero la superficie se incrementa sólo al cuadrado, de acuerdo con este principio, si se tiene una especie de el doble de tamaño que otra, será ocho veces más pesada pero sólo duplicará su área. Debido a esta relación, los organismo de mayor tamaño deberán compensar el cambio de área volumen para procesos tales como la respiración, o la absorción por membranas. Un forma de aumentar el área para un volumen dado es hacer el exterior más irregular, este fenómeno puede apreciarse en la ramificación del árbol bronquial o del sistema vascular (West, 1990). Estas han sido descritas como estructuras fractales y presentan el fenómeno de autosimilitud, es decir, a diferentes ampliaciones se presentan estructuras que son prácticamente indistinguibles entre sí cuando no se cuenta con el valor de la ampliación o de la escala. En las curvas frecuencia tiempo de la FC se presenta este mismo fenómeno, por lo que para calcular su longitud es necesario utilizar una reglilla de medida cada vez más pequeña, como lo descrito por Gough en 1992, en este trabajo la reglilla se construyó con series de números que dividieran al número de datos de manera exacta y que fueran menores a la mitad del número de datos. La dimensión fractal ($d = 1 - n$) se calcula de la relación entre la reglilla (s) y la longitud estimada de la curva ($L[s]$); $L(s) = a \cdot s^{-n}$. La dimensión fractal es proporcional a la irregularidad de la curva.

REFERENCIAS

- Aurioles, G.D. y Zavala G.A. 1994. Consumo anual de alimento de la población de lobo marino *Zalophus californianus* en el Golfo de California y su relación con la pesquería de sardina. XIX Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos. La Paz, Baja California. Res. 6.
- Bourillón, M.L., Cantú, D.B.A., Eccardi, A.F., Lira, F.E., Ramirez, R.J., Velarde, G.E., y Zavala, G.A. 1988. Las islas del Golfo de California. Secretaría de Gobernación-U.N.A.M. México, D.F. 292.pp
- Burggren, W. and Roberts, J. 1991. Respiration and metabolism. En: *Environmental and Metabolic Animal Physiology. Comparative Animal Physiology*. 4ª ed. C. Ladd Prosser (ed). Wiley-Liss. pp 1.
- Devaney, R.L. 1990. Chaotic Explosions in Simple Dynamical Systems. En: *The Ubiquity of Chaos*. Krasner S. (ed). A.A.S., Washington, D.C.
- Durán, M.E., Prieto, J. y Medrano, L. 1994. Estudio de los cambios en las dinámicas del buceo y de la frecuencia cardíaca en el humano y en el lobo marino *Zalophus californianus californianus*. XXXVII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Fisiológicas. Mérida, Yucatán. Res. C67.
- Eckert, R., Randall, D. y Augustine, G. 1988. *Fisiología Animal. Mecanismos y Adaptaciones*. Interamericana-Mc Graw Hill. pp 435-471. Elsner, R., Franklin, L.D., Van Critters, L.R., Kenney, W.D. 1966. Cardiovascular defense against asphyxia. *Science*. (153):941-949.
- Farrell, P.A. 1991. Circulation of Body Fluids. En: *Environmental and Metabolic Animal Physiology. Comparative Animal Physiology*. 4ª ed. C. Ladd Prosser (ed). Wiley-Liss. pp 509-558.
- Feldkamp, S., DeLong, R.L. and Antonelis, G. 1989. Diving patterns of california sea lions, *Zalophus californianus*. *Can. J. Zool.* 67:872-883.
- Ganong, W. 1990. *Fisiología Médica*. Prentice Hall. México. pp 478-479.
- García, M. C. 1992. Conducta territorial de lobo marino *Zalophus californianus* en la lobera Los Cantiles, Isla Angel de la Guarda, Golfo de California, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. U.N.A.M. México, D.F. 123 pp.

- Giles, W.R. 1989. Intracellular Electrical Activity in the Heart. En: Textbook of Physiology. Vol. 2. Patton, H., Fusch, A., Hille, B., Scher, A., and Steiner, R. (eds.). W.B. Saunders Co. Philadelphia. pp 782-795.
- Glass, L. y Mackey, M.C. 1988. From clocks to chaos. The rhythms of life.
- Goldberger, A.L. 1990. Fractals and the Heart. Proc. Kon. Ned. Akad. v. Wetensch. 93(4):409-418.
- Goldberger, A.L., Bhargava, V., West, B.J., and Mandell, A.J. 1985. On a Mechanism of Cardiac Electrical Stability. The Fractal Hypothesis. Biophys. J. 48:525-528.
- Goldberger, A.L., and Rigney, D.R. 1990. Sudden Death is not Chaos. En: The Ubiquity of Chaos. Krasner S. (Ed.). A.A.A.S., Washington, D.C.
- Goldberger, A.L., Rigney, D.R., and West, B.J. 1990. Chaos and Fractals in Human Physiology. Sci. Am. 262:34-41.
- Gough, N. J. 1992. Fractals, chaos, and fetal heart rate. The Lancet. 339:182-183.
- Hong, S.K. y Rahn, H. 1967. The Diving women of Korea and Japan. Sci. Am. 218(5):34-43.
- Huntley A.C. 1987. Determination of basal metabolic rate by extrapolation in mammals that breathe periodically. In: Marine Mammals Energetics. Huntley, A.C., Costa, D.P., Worthy G.A. and Castellini, M.A. (eds.). Society for Marine Mammalogy. pp 97-108.
- Huntsman, L.L., and Feigl, E.O. 1989. Cardiac Mechanics. En: Textbook of Physiology. Vol. 2. Patton, H., Fusch, A., Hille, B., Scher, A., and Steiner, R.(eds.). W.B. Saunders Co. Philadelphia. pp 820-833.
- Kleiber, M. 1975. The fire of life. Krieger publ. Co., New York.
- Kooyman, G.L., Wahrenbrock, E.A., Castellini, M.A., Davis, R.W. and Sinnet, E.E. 1980. Aerobic and anaerobic metabolism during voluntary diving in Weddell seals: evidence of preferred pathways from blood chemistry and behavior. J. Comp. Physiol. 138:335-346.
- Kooyman, G.L., Castellini, M.A., and Davis, R.W. 1981. Physiology of Diving in Marine Mammals. Ann. Rev. Physiol. 43: 343-358. Kooyman, G.L., Castellini, M.A., Davis, R.W. and Mauw, R.A. 1983. Aerobic diving limits of immature wedell seals. J. Comp. Physiol. 151:171-174.
- LLuch, B.D., Adams, L. and Losocki, S.G. 1969. Dos mamíferos marinos de Baja California. Instituto Mexicano de Recursos naturales renovables A. C. pp 12-26.
- Mandelbrot, B. 1982. The Fractal Geometry of Nature. Freeman and Co. New York

- Morales, B. y Aguayo A. 1992. Nacimientos y modelos de crecimiento de las crías de lobo marino. *Ciencias Marinas*, 18(1):109-123.
- Netter, F. H. (1983). *Corazón*. Tomo V. Colección Ciba de Ilustraciones médicas. Salvat Editores S.A., Barcelona, España. pp.13 y 50.
- Paulev, P.E., Pokorski, M., Honda, Y., Ahn, B., Masuda, A., Kobayashi, T., Nishibayashi, Y., Sakakibara, Y., Tanaka, M. and Nakamura W. 1990. Facial cold receptors and the survival reflex "Diving bradycardia" in man. *Jap. J. Physiol.*40:701-712.
- Pelting, H.O., Jürgens, H. and Saupe, D. 1992. *Fractals for the classroom*. Vol. 1. Introduction to fractals an chaos. Springer-Verlag. New York. 450 pp.
- Sanna. G. 1994. Il Fascino discreto del caos. *C. Ital. Cardiol.* 24:71-79.
- Scher, A.M. 1989. Cardiovascular Control. En: *Textbook of Physiology*. Vol. 2. Patton, H., Fusch, A., Hille, B., Scher, A., and Steiner, R. (eds.). W.B. Saunders Co. Philadelphia. pp 972-990.
- Scher, A.M. 1989. The Electrocardiogram. En: *Textbook of Physiology*. Vol. 2. Patton, H., Fusch, A., Hille, B., Scher, A., and Steiner, R. (eds.). W.B. Saunders Co. Philadelphia. pp 796-819.
- Schölander, P. 1964. Animal in aquatic environments: Diving mammals and birds. En: *Handbook of physiology*. Sec 4. Adaptation to the environment. Dill, D.B., Adolph, E.F. and Wilbur, C.G.(eds) American Physiological Society. Washington D. C. pp 729-739.
- Shu, C.H. 1980. *Análisis de Fourier*. Ed. Alfa-Omega. Barcelona. pp 1-120.
- Thompson D. and Fedak, M. 1993. Cardiac responses of gray seals during diving at sea. *J. exp. Biol.* 174:139-164.
- Weber, E.R. 1991. Fractal Geometry: A Design Principle for Living Organisms. *Am. Journal Physiol.* 262(6):L361-369.
- West B.J. 1990. *Fractal physiology and chaos in medicine*. World scientific. 278 pp.
- Williams, T.M., Kooyman, G.L. and Croll, D.A. 1991. The effect of submergence on heart rate and oxygen consumption of swimming seals and sea lions. *J. Comp. Physiol.* 160:(B)637-644.
- Whittow, G.C. 1987. Thermoregulatory adaptations in marine mammals: interacting effects of exercise and body mass. A Review. *Marine Mammal Science*. 3(3):220-241.



"Okay, Williams, we'll vote . . . how many here say the heart has four chambers?"