



ESCUELA DE MÚSICA

MÚSICA PROTEICA: DESARROLLO DE UNA TÉCNICA MUSICAL DE
COMPOSICIÓN FUNDAMENTADA EN LAS CONFORMACIONES
ESTRUCTURALES DE PROTEÍNAS.

AUTOR

Santiago Andrés Noriega Velasteguí

AÑO

2018



ESCUELA DE MÚSICA.

MÚSICA PROTEICA: DESARROLLO DE UNA TÉCNICA MUSICAL DE
COMPOSICIÓN FUNDAMENTADA EN LAS CONFORMACIONES
ESTRUCTURALES DE PROTEÍNAS.

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Licenciado en Música con
especialización en Composición.

Profesor guía:

Msc. Lenin Guillermo Estrella Arauz.

Autor:

Santiago Andrés Noriega Velasteguí.

Año:

2018.

DECLARACIÓN PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, Música proteica: desarrollo de una técnica musical de composición fundamentada en las conformaciones estructurales de proteínas, a través de reuniones periódicas con el estudiante Santiago Andrés Noriega Velasteguí, en el semestre 2018-1, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

Lenin Guillermo Estrella Arauz.

1711933695

DECLARACIÓN PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, Música proteica: desarrollo de una técnica musical de composición fundamentada en las conformaciones estructurales de proteínas, del Santiago Andrés Noriega Velasteguí, en el semestre 2018-1, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

Diego Carlisky.
28907358

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Santiago Andrés Noriega Velasteguí.
1718364209.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y hermano, por su apoyo y paciencia. A mis amigos, por creer en mis ideas locas. A mis profesores y profesoras, por sus enseñanzas. A la vida, por darme la opción.

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mi familia, quienes me enseñaron el significado de pasión y paciencia. Y a usted querido lector, donde espero hacer vibrar su curiosidad con mucha intensidad.

RESUMEN.

La presente investigación tiene como objetivo el desarrollo de una técnica compositiva, la cual analiza ciertas conformaciones estructurales de las proteínas, para luego traducirlas a series de notas musicales. El resultado de la equivalencia de biomoléculas a sonidos dará herramientas melódicas y armónicas, que luego serán usadas en la concepción de tres obras inéditas. Para esto se ha planteado dos pasos imperativos. Primero, la investigación de un movimiento artístico experimental basado en la fusión de arte con ciencia (*bioarte*), así como el análisis de los compositores Marie Anne Clark y Warren Burt, quienes han indagado diversas formas de musicalizar una secuencia de aminoácidos (proteína desplegada). Ellos dan sonido a estas biomoléculas al utilizar las características físico-químicas de las mismas en procesos numéricos. Segundo, se desarrolla y fundamenta de manera científica el método compositivo propuesto, tomando como referencia las técnicas de los compositores descritos. De igual modo, se realiza un análisis exhaustivo del movimiento ondulatorio de los aminoácidos, relacionándolos con la frecuencia de vibración de las notas. En consecuencia, se redactan los pasos a seguir para comprender y usar esta técnica compositiva durante el proceso de creación. Como resultado se crearon tres obras musicales que nacen de la traducción, análisis e interpretación de una serie de aminoácidos convertidos a melodías con diferentes posibilidades armónicas.

ABSTRACT.

The objective of this research is the development of a compositional technique, which analyzes certain structural conformations of proteins, and then translates them into series of musical notes. The result of the equivalence of biomolecules to sounds will give melodic and harmonic tools, which will then be used in the conception of three unpublished compositions. For this, two imperative steps have been considered. First, the investigation of an experimental artistic movement based on the fusion of art with science (bioart), as well as the analysis of the composers Marie Anne Clark and Warren Burt, who have investigated various ways of musicalizing an amino acid sequence (unfolded protein). They have made music from these biomolecules when using the physical-chemical characteristics in numerical processes. Second, the proposed compositional method is developed and based scientifically, taking as reference the techniques of the composers described. Likewise, an exhaustive analysis of the wave movement of the amino acids is carried out, relating them to the vibration frequency of the notes. As a result, the steps to be followed are written to understand and use this compositional technique during the creation process. Therefore, three musical works were created from the translation, analysis and interpretation of a series of amino acids converted to melodies with different harmonic possibilities.

ÍNDICE.

Introducción	1
Capítulo 1: Los cimientos músico-biológicos (antecedentes y definiciones)	3
1.1. Antecedentes: propuestas estético-científicas.....	4
1.2. Proteínas: ¿Qué son?.....	8
1.2.1. Definición y clasificación.....	8
1.2.2. Conformación estructural proteica.....	10
1.3. Música proteica: Métodos compositivos existentes.....	16
1.3.1. Compositores y métodos compositivos.....	18
Capítulo 2: El sonido de las proteínas (método compositivo)	23
2.1. Relaciones músico-moleculares.....	23
2.1.1. Traducción de aminoácidos a notas musicales.....	24
2.1.2. Determinación de una melodía, una escala y una estructura armónica.....	29
2.1.3. Determinación de la rítmica.....	31
Capítulo 3: De la proteína a la partitura (aplicación de la técnica compositiva desarrollada)	32
3.1. Descripción general.....	32
3.1.1. Descripción de la propuesta estético-molecular.....	32
3.2. Ejemplo de aplicación de la técnica compositiva desarrollada.....	33

3.3.	Descripción y desarrollo del portafolio de tres composiciones inéditas.....	39
3.3.1.	El anciano eco de la creación – Santiago A. Noriega Velasteguí (ADN Polimerasa de <i>Thermococcus barophilus</i>).....	39
3.3.2.	El Empedrado – Santiago A. Noriega Velasteguí (Fotosistema I de <i>Polylepis reticulata</i>).....	42
3.3.3.	Última Rayuela – Santiago A. Noriega Velasteguí (Activador de apoptosis harakiri de <i>Homo sapiens</i>).....	44
	Conclusiones	47
	Recomendaciones	49
	Referencias	52
	ANEXOS	56

Introducción.

La presente tesis expone una nueva propuesta compositiva, la cual se basa en interpretar y traducir una secuencia de aminoácidos a una serie de notas. Esta serie musical, derivada de una proteína, es analizada para determinar una escala; de este producto se concibe la armonía propia de la biomolécula escogida. Así se va dando una identidad musical a una molécula que, a primera vista, no tiene relación alguna con la composición.

La música comparte una característica con los seres vivos, y es que está sufriendo un proceso de constante cambio. Se puede observar que ha evolucionado a través de las diferentes etapas culturales de la humanidad, así como en el renacimiento, barroco, clásico, romántico, nacionalista, contemporáneo, entre otros. Es así que en la actualidad se ha presentado el fenómeno del *bioarte*, el mismo que utiliza medios teóricos, experimentales y biológicos para crear obras de arte.

El detonante para el desarrollo de la técnica propuesta en este trabajo, se debe al interés de aportar con nuevas ideas y propuestas experimentales debido al contacto previo con un entorno científico. Este método invita a buscar diferentes fuentes de inspiración, así como satisfacer la curiosidad investigativa aportando a la constante evolución de la música. Se entrega pues una nueva herramienta de composición que sale de lo convencional.

Para poder plantear esta técnica se realizó la investigación y recopilación de *bioartistas*, así como los métodos que ellos usan para musicalizar una proteína. Se hace referencia a dos personas: la bióloga Marie Anne Clark, y el músico Warren Burt; personajes que analizan, interpretan y organizan determinada información de dichas moléculas. Clark organiza a los aminoácidos utilizando sus características físico-químicas; mientras que Burt analiza su prevalencia de estos. Ambos generan un sistema de equivalencia aminoácido-nota, el cual permite traducir una secuencia proteica a melodía.

Tomando como referencia a estos métodos descritos, se eligió analizar la frecuencia de vibración de los aminoácidos para lograr una equivalencia de

aminoácidos a notas. El proceso involucra el análisis del comportamiento vibratorio de las partículas, así como la naturaleza del movimiento del sonido. Mostrando sus equivalentes en aminoácidos, se crearon tablas que utilizan diferentes intervalos entre notas.

La finalidad de esta tesis es desarrollar una técnica musical de composición fundamentada en las conformaciones estructurales de proteínas. Para ello se condensa bibliografía acerca de conceptos de composición musical y los procesos de secuenciación de proteínas. Así mismo, se asocian las estructuras de las proteínas con la conformación teórica de la música occidental. Finalmente se ha producido un portafolio de tres composiciones para guitarra, teclado, bajo y batería.

Esta investigación se distribuye en tres capítulos:

- Capítulo 1: Los cimientos músico-biológicos. Se recopila y explican antecedentes y definiciones musicales dentro del *bioarte*, así como los procesos de ensamblaje y clasificación de las estructuras que conforman una proteína.
- Capítulo 2: El sonido de las proteínas. Aquí se desarrolla la técnica de composición, así como la fundamentación teórica de sus partes y origen.
- Capítulo 3: De la proteína a la partitura. En este último capítulo se enseña la aplicación de la técnica, la interpretación de los resultados, y las tres composiciones como producto final de esta investigación.

Capítulo 1: Los cimientos músico-biológicos (antecedentes y definiciones).

Todas las ciencias exactas se encuentran estrechamente relacionadas, las cuales están trabajando constantemente en conjunto, como por ejemplo, en los fenómenos biológicos. Estos pueden ser explicados con la matemática, la química y la física. De igual modo, la información y bibliografía sobre estos tópicos se pueden encontrar fácilmente en bibliotecas e internet, pero ¿qué hay de los nexos estéticos entre las ciencias y el arte?

Esta interacción entre ciencias y arte, llamada *bioarte*, (biotecnología como arte) (Mitchell, 2015) se lo ejemplifica en este capítulo con la descripción de dos artistas: un físico y escultor contemporáneo llamado Julian Voss Adrae; y Johann Sebastian Bach, una eminencia musical del período barroco. Por otro lado, este trabajo muestra una relación conceptual con el serialismo, encabezado por Arnold Schönberg, por lo que se debe describir la relación entre el método compositivo de Schönberg y el del actual trabajo. De igual modo, más adelante se describirán a los compositores musicales que han incursionado con la música en el *bioarte*, y que son los referentes escogidos para el desarrollo de una nueva técnica de composición basada en estructuras proteicas, siendo ellos Joel Sternheimer, Marie Anne Clark y Warren Burt.

Consecuentemente, se describen a las proteínas, su clasificación, y sus conformaciones estructurales. El propósito es entender cómo se desarrolla la construcción molecular para poder determinar una relación entre las conformaciones estructurales proteicas con conceptos musicales, tales como las distancias interválicas, motivos melódicos, desarrollo armónico, etc.

Finalmente, se hace una breve reseña de los compositores que analizan y utilizan la información contenida en las proteínas. Se describe con más detalle los métodos compositivos de Joel Sternheimer, Marie Anne Clark, y Warren Burt, los cuales son los principales referentes de este trabajo debido a que utilizan métodos numéricos y matemático para musicalizar proteínas.

1.1. Antecedentes: propuestas estético-científicas.

El *bioarte* se divide en dos líneas de montaje: de presentación (táctica vitalista), o de representación (táctica profiláctica), los cuales muestran aspectos de la biotecnología, tales como: conceptos, experimentos, ideas, influencias sociales y económicas, entre otros (Mitchell, 2015, págs. 26-31). Por un lado, el *bioarte* como táctica profiláctica hace referencia al uso de medios no-biotecnológicos (pintura, escultura en madera o metal, fotografía, etc.) para representar aspectos de la biotecnología. En contraste, la táctica vitalista usa herramientas biotecnológicas (experimentos, medios de cultivo, bacterias, etc.) como medio para hacer arte (Mitchell, 2015, págs. 26-31).

Uno de los *bioartistas* destacado que utiliza la táctica profiláctica es Julian Voss Adrae, el cual realizó estudios en ciencias físicas en las universidades de Berlín y Edimburgo. Posteriormente completó un máster en física cuántica en la Universidad de Viena (López J. , 2016). Una vez que finalizó sus estudios se dirigió hacia EEUU para convertirse en escultor en la Universidad del Pacífico Noroeste de Arte (PNCA) (Gerritsen, Tales From A Small World, 2009, pág. 141). Su gran afición por la física cuántica y la escultura le sirvieron como inspiración para crear obras espectaculares (figura 1) (López J. , 2016). Su interés por el comportamiento cuántico de grandes biomoléculas lo llevaron a desarrollar un método para poder esculpir las; usando un programa de su autoría, Julian traduce la información de las estructuras en 3D de las proteínas, que es extraída de una base de datos, a varias piezas que son cortadas y ensambladas (Gerritsen, Tales From A Small World, 2009, pág. 142).



Figura 1 Julian Voss-Andreae. Adaptado de López J. , 2016.

Otro artista que utilizó como método compositivo a las ciencias exactas, específicamente a las matemáticas, es Johann Sebastian Bach. Su genialidad musical como compositor, organista, clavecinista, violinista, violista, maestro de capilla, etc. se ve reflejado en sus obras maestras del período barroco (Wolff, Johann Sebastian Bach: The Learned Musician, 2001, págs. 2, 3). Bach se consideraba como un músico académico que producía obras con un fondo científico-musical (Wolff, Johann Sebastian Bach: The Learned Musician, 2001, pág. 4). Esto se debe a que J. S. Bach tenía como dictamen un principio de Aristóteles: el arte imita a la naturaleza; usa a las matemáticas, en sus composiciones, como un camino para honrar a Dios (Wolff, Johann Sebastian Bach: The Learned Musician, 2001, pág. 5). El historiador Eli Maor describió a Bach como un matemático experimental del alto nivel, ya que este exploraba a profundidad la simetría y la impregnaba en sus obras maestras (López J. , 2016). Es así que, de todo su repertorio, el Canon del Cangrejo (figura 2), es uno de muchos ejemplos donde combina la geometría con la estructura musical, dejando un legado peculiar (López J. , 2016).



Figura 2 Partitura del Canon del Cangrejo por J. S. Bach. Adaptado de López J. , 2016.

El Canon del Cangrejo es una obra que “se engrana consigo mismo yendo tanto hacia adelante como hacia atrás” (Quinn, Arreola, Esther y Barth: Una eterna brida rodada, 2000, pág. 356), ya que se fundamenta en la forma simétrica conocida como la banda de Möbius, ilustrado en la figura 3; esta banda es una estructura simétrica que presenta una torsión de 180 grados, lo que le da la característica de tener una superficie de una sola cara con solo un borde (Walser, Symmetry, 2000, pág. 24). Son estas particularidades geométricas que unifican el canon y la banda de Möbius; es decir, “la pieza suena igual si se toca desde delante hacia atrás que si se hace desde atrás hacia delante” (López J. , 2016).

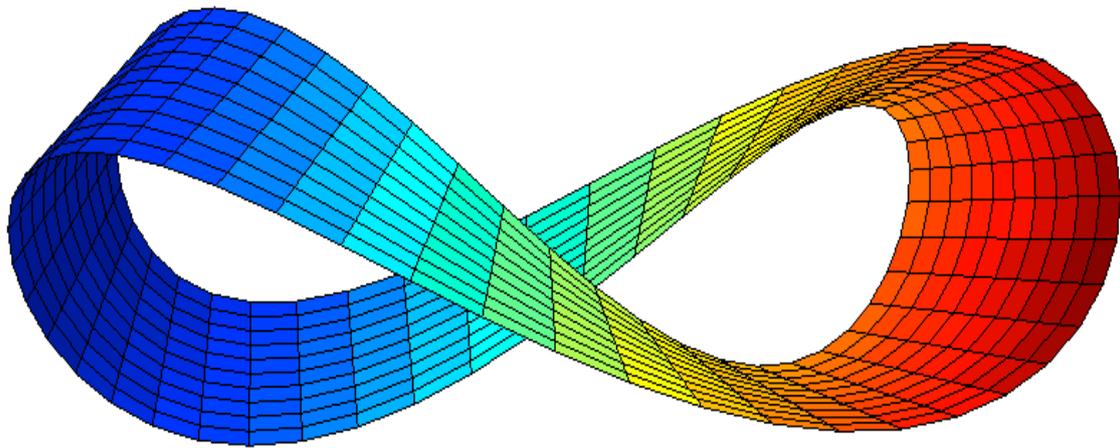


Figura 3 Banda de Möbius. Tomado de Fantova, 2015.

Yendo más allá, así como la banda de Möbius es relacionada con una pieza musical barroca, esta forma geométrica también se observa en la estructura molecular cíclica de la kalata (López J. , 2016), dato que J. S. Bach no conocía por las limitaciones científicas de su época. La kalata es una proteína muy relacionada con la biotecnología; pertenece al grupo de los ciclótidos (un grupo proteico en plantas), siendo un mini-péptido que ha sido aislado de las familias vegetales *Rubiaceae*, *Violaceae* y *Cucurbitaceae*. Está conformada entre 28 a 37 residuos de aminoácidos, y funciona como molécula de defensa contra depredadores (con otras actividades biológicas que incluyen uterotónica, anti-VIH, antitumoral y antimicrobiana) (Newman, Cragg, & Grothaus, chemical Biology of Natural Products, 2017). Cabe recalcar que esta molécula ha sido también fuente de inspiración para Juilan Voss-Andreae (López J. , 2016).

Por último, el concepto fundamental de la presente tesis yace en el precepto teórico del serialismo. Esta técnica compositiva, creada por Arnold Schönberg, está diseñada para formar una serie de notas a partir de la sucesión de las doce notas contempladas en una octava (Brindle, 1966, pág. 4). De igual modo, la técnica propuesta utiliza una serie de notas ya establecidas por la serie de aminoácidos de una proteína, difiriendo en que las 12 notas no necesariamente están incluidas, sino una agrupación; esta dependerá de la distancia interválica usada en la traducción de aminoácidos a notas. Así mismo, la serie de una proteína puede tener varias notas que se repitan, a diferencia de uno de los

axiomas serialista, el cual dice que ninguna nota puede ser usada más de una vez hasta que termine la serie (Brindle, 1966, pág. 4).

1.2. Proteínas: ¿qué son?

Para poder comprender la relación entre las estructuras musicales, se describe a continuación a las proteínas y su conformación estructural. Se puede hacer una analogía entre una proteína con una larga cadena que está plegada en forma de ovillo. Partimos desde los “eslabones” (aminoácidos) que conforman una “cadena” completa (proteína), la interacción entre estos eslabones y las combinaciones resultantes del plegamiento y agrupamiento de la cadena resultante.

Las proteínas son compuestos orgánicos de las células. Estas moléculas “son elementos estructurales, pero tiene mayor importancia [...] como catalizadores (enzimas) y reguladores de procesos celulares” (Villem, 1988, pág. 25), esto quiere decir que son como las máquinas dentro de una fábrica. Se encuentran entre las moléculas con mayor presencia en las células y, junto con los ácidos nucleicos, comparten una gran complejidad y variedad (Villem, 1988, pág. 28).

A continuación, se describirá la estructura y conformación de las proteínas, desde sus formas más básicas hasta llegar a conformaciones complejas.

1.2.1. Definición y clasificación.

Las proteínas son compuestos conformados por carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y fósforo; la unión de estos elementos forma aminoácidos (eslabones), que son los componentes más simples de las proteínas (cadena). Gran parte de las proteínas intracelulares son enzimas (moléculas que regulan la rapidez de varias reacciones celulares) (Villem, 1988, págs. 28, 29).

Existen 20 aminoácidos, como se muestra en la figura 4, los cuales están formados por un grupo amino (H_2N en verde) y un grupo carboxilo ($COOH$ en azul), pero la distinción entre cada aminoácido se encuentra en sus grupos

laterales (grupo R), resaltadas en rojo. En la figura 4 se puede observar las estructuras de los aminoácidos más simples: glicina, que tiene como cadena lateral un H (hidrógeno); y la alanina que tiene un grupo $-\text{CH}_3$ en su cadena lateral (Villem, 1988, pág. 29).

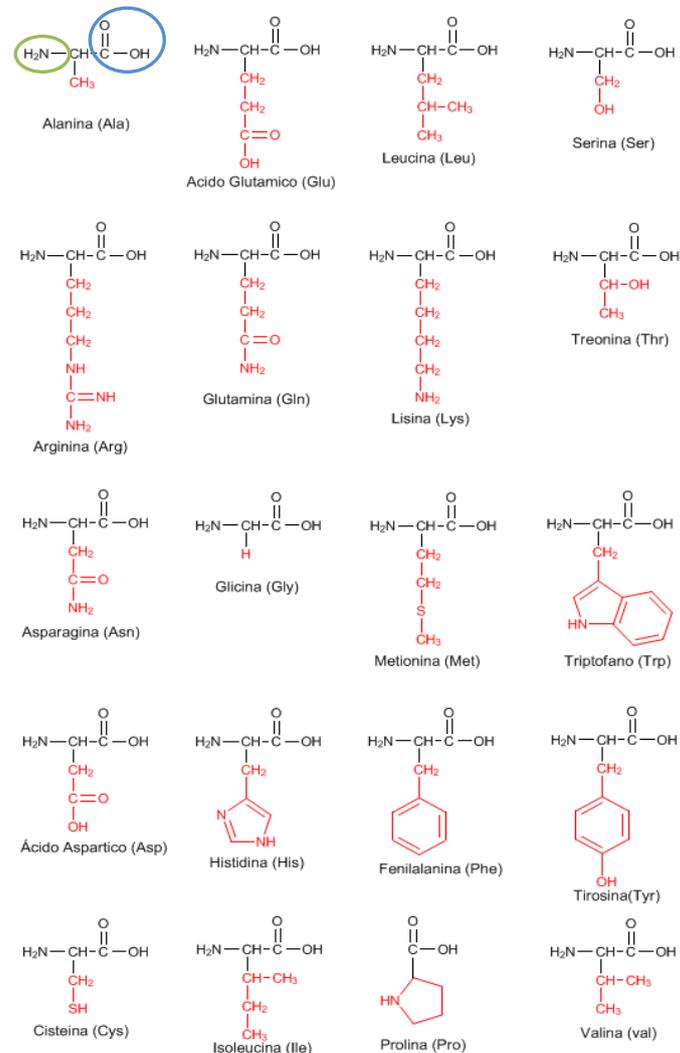


Figura 4. Tipos de aminoácidos. Adaptado de Fernandez, s.f.

Los aminoácidos se juntan entre sí mediante una unión llamado enlace peptídico, el cual se da por el cruce del grupo amino (NH₃) de un aminoácido con el grupo carboxilo (COOH) de otro aminoácido, como se puede ver en la figura 5.

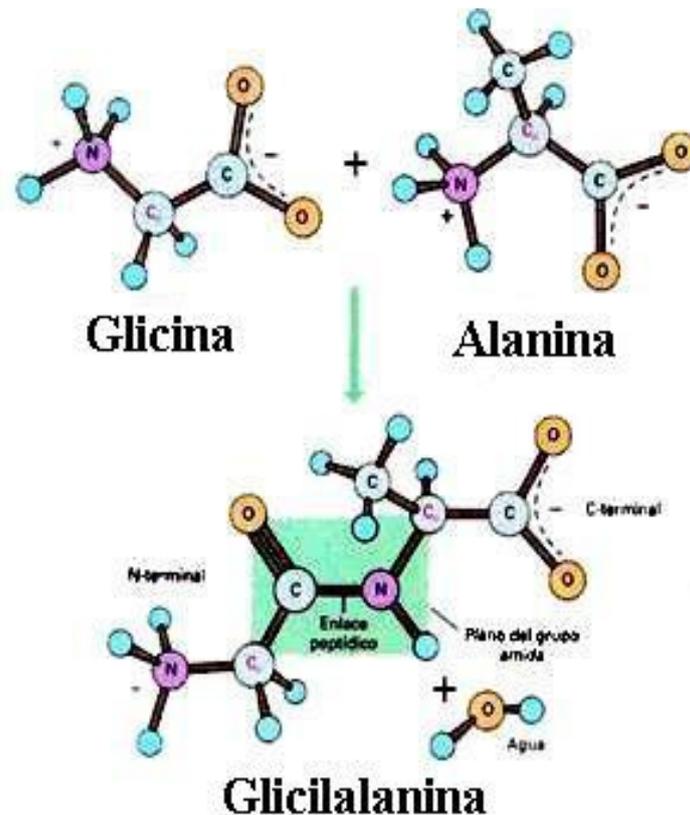


Figura 5. Enlace peptídico entre glicina y alanina. Tomado de Universidad del Oriente - Venezuela, 2008.

Las proteínas se las puede agrupar en clases funcionales: proteínas estructurales, que dan rigidez a la célula; proteínas transportadoras, controlan el flujo de material a través de las membranas celulares; proteínas reguladoras, son sensores e interruptores de la actividad de genes y de otras proteínas; proteínas señalizadoras, transmiten señales desde el exterior de la célula hacia el interior; y por último las proteínas motoras, se encargan del movimiento (Lodish, 2005, pág. 59).

1.2.2. Conformación estructural proteica.

1.2.2.1. Estructura primaria (disposición lineal).

La estructura primaria es la disposición lineal de los aminoácidos que conforman la proteína (figura 6) (Lodish, 2005, pág. 61). Esta disposición en forma de cadena corta de aminoácidos tienen una secuencia definida conocida como péptido; las cadenas más largas se las llaman polipéptidos. El péptido se

compone de entre 20 – 30 aminoácidos, en cambio, los polipéptidos se componen entre 4.000 aminoácidos. Entonces, se puede definir a una proteína como un polipéptido complejo (una larga cadena plegada en forma de ovillo).

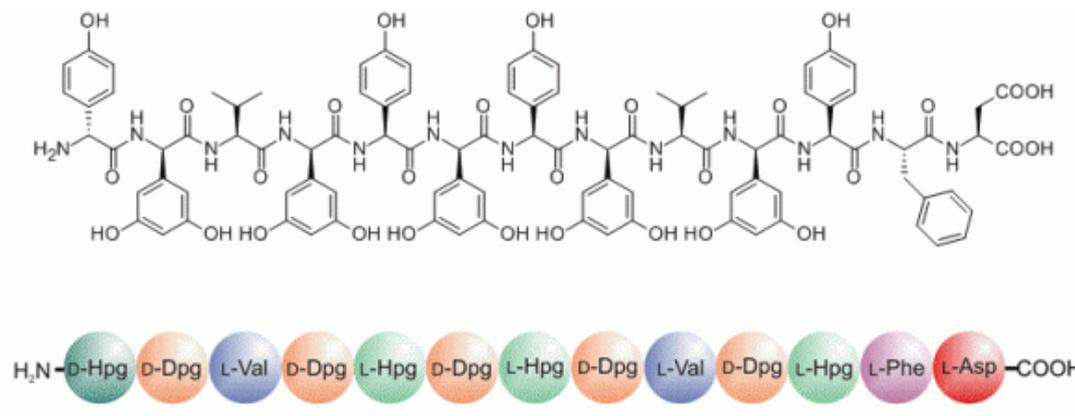


Figura 6. Estructura Primaria - disposición lineal. Tomado de Villaseñor, 2013.

1.2.2.2. Estructura secundaria (elementos arquitectónicos).

Las estructuras secundarias son el resultado de plegamientos de secciones específicas de las estructuras primarias. Un solo polipéptido puede tener múltiples estructuras secundarias. Si un polipéptido carece de interacciones estabilizadoras asume una forma de enrollamiento al azar (*random coil*). Pero cuando existen elementos estabilizadores, como enlaces de hidrógeno, algunas secciones de la cadena principal toman formas definidas: hélices alfa (α), hoja beta (β) o un giro corto en forma de 'U', como se muestra en la figura 7. De estas estructuras el 60% son hélices α y hojas β , mientras que el resto de estructuras de una proteína son giros al azar y plegamientos. Son las hélices α y hojas β las estructuras principales en una proteína (Lodish, 2005, pág. 61).

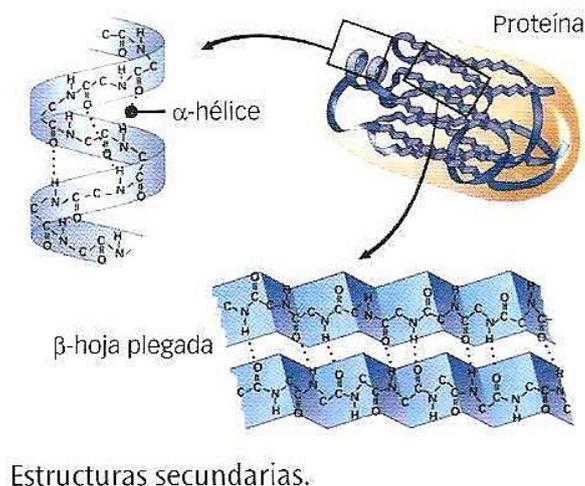


Figura 7. Estructura Secundaria - Hélice alpha y Hoja beta. Adaptada de M.L.W., s.f.

1.2.2.3. Estructura ternaria (plegamiento global).

Este tipo de estructura es el plegamiento global y la disposición tridimensional (figura 8). Pero estas conformaciones globales no son fijas; pueden haber fluctuaciones en su estructura, afectando de manera importante la función de la proteína (Lodish, 2005, pág. 62).

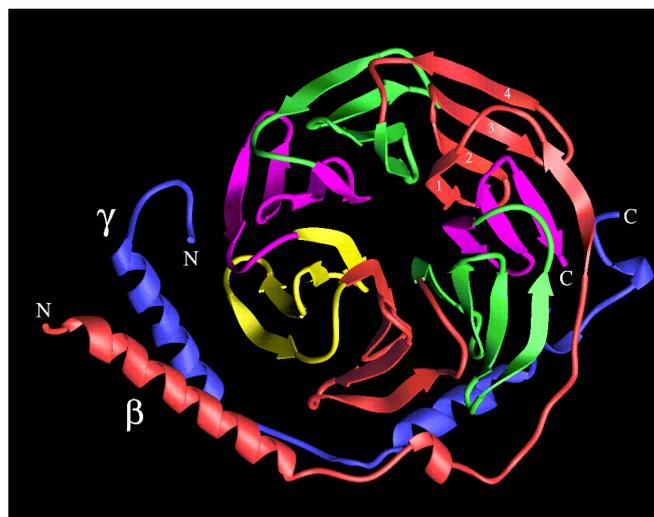


Figura 8. Estructura Ternaria. Adaptada de Centro de Análisis de Imágenes Biomédicas Computarizadas (CAIBCO), Universidad Central de Venezuela, 2016.

1.2.2.4. Los motivos (combinaciones regulares de estructuras secundarias).

Los motivos son combinaciones particulares de estructuras secundarias que poseen una topología particular y cumplen funciones específicas. Por ejemplo, la mano EF, que es un motivo que existe en muchas proteínas reguladoras de unión al calcio y de unión al ADN, es un motivo de una unión hélice α -bucle-hélice α . Esta estructura se encuentra en más de 100 proteínas de unión al calcio (figura 9) (Lodish, 2005, pág. 63).

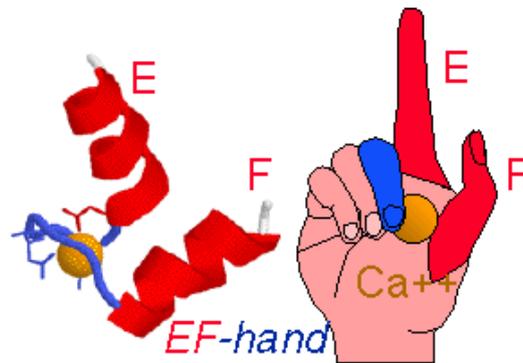


Figura 9. Mano EF. Adaptada de Claros, s.f.

1.2.2.5. Dominios estructurales y funcionales (módulos de estructuras ternarias).

Un dominio es una estructura polipeptídica que está plegada de forma muy compacta. Son regiones que están bien diferenciadas físicamente y separadas entre sí, pero están unidas a otros dominios por segmentos intermediarios de la cadena polipeptídica. Como ejemplo se observa a la Hemaglutinina (HA), una proteína de superficie en el virus de la gripe (figura 10) (Lodish, 2005, págs. 64, 65).

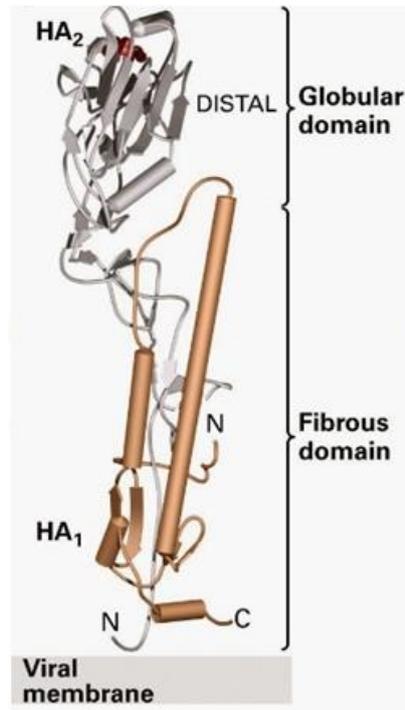


Figura 10. Dominios - Hemaglutinina (HA). Adaptada Daly, 2015.

1.2.2.6. Estructuras cuaternarias (asociación en estructuras multiméricas y agrupaciones macromoleculares).

Las proteínas multiméricas están conformadas por la unión de dos o más polipéptidos. Las agrupaciones de este tipo de proteínas forman estructuras cuaternarias (figura 11). Otro orden de nivel superior son las asociaciones macromoleculares. Estas estructuras son mucho más grandes, excediendo 1mDa (unidad de masa atómica) en masa. Estas agrupaciones macromoleculares actúan como una especie de maquinaria molecular, estando encargadas de procesos celulares mucho más complejos, como por ejemplo la maquinaria transcripcional que inicia la síntesis del RNA mensajero (figura 12) (Lodish, 2005, pág. 66).

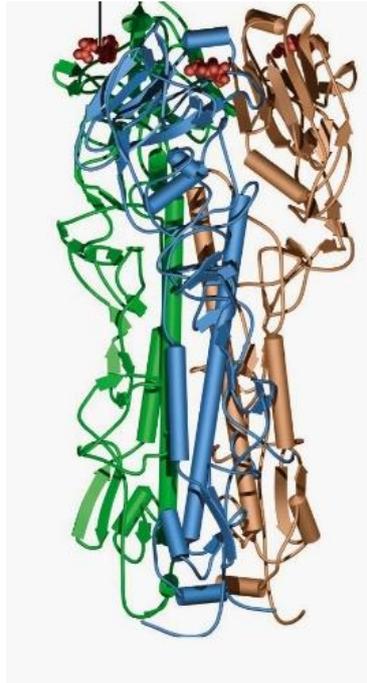


Figura 11. Agrupación multimérica – Hemaglutinina. Adaptada de Daly, 2015.

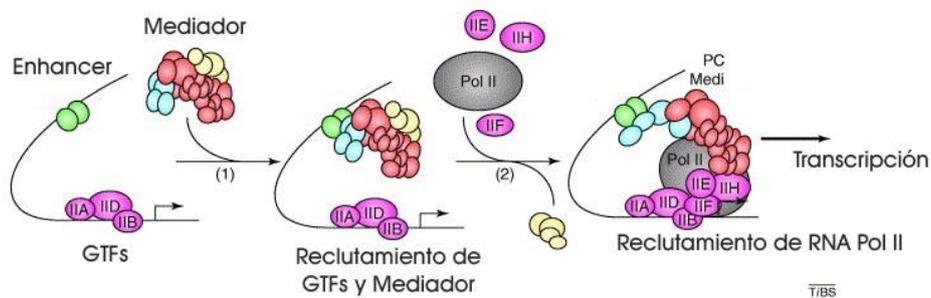


Figura 12. Maquinara de transcripción de RNA mensajero en levadura. Tomado de Cramer, 2006.

Resumiendo hasta este punto, la construcción de una proteína comienza por la unión en cadena de aminoácidos (estructura primaria), los cuales se pliegan para tener formas específicas, como las piezas de un rompecabezas (estructuras secundarias); estas piezas se agrupan formando cúmulos (estructuras terciarias), que a su vez interactúan con otros cúmulos para dar lugar a conformaciones más complejas (estructuras cuaternarias). De todas estas conformaciones, se ha escogido las estructuras secundarias, ya que la

cantidad de aminoácidos proporciona suficiente información para una obra musical completa. En el caso de que se tomase la secuencia total de una proteína, la cantidad de información se vuelve inmanejable debido a que la serie de aminoácidos varía de unos cuantos centenares a decenas de miles.

1.3. Música proteica: métodos compositivos existentes.

Según Levitin (2011, p. 23), a la música se la puede descomponer en los siguientes elementos básicos: intensidad, tono, contorno, duración (o ritmo), tempo, timbre, ubicación espacial y reverberación. Estos atributos se pueden separar y modificar sin alterar a otros, lo que permite estudiarlos muy detalladamente. Es así que “la diferencia entre ‘música’ y una serie de sonidos al azar o desordenada, está relacionada con el modo que tienen de combinarse estos atributos fundamentales y las relaciones que se establecen entre sí” (Levitin, 2011, pág. 26). Estas combinaciones entre elementos básicos originan conceptos de orden superior que se manifiesta en el compás, la tonalidad, la armonía, y la melodía (Levitin, 2011, pp. 25, 26), conceptos que son tomados como base para este trabajo.

Con respecto a la música proteica, existen antecedentes que han gestionado una relación entre las proteínas y la música utilizando los recursos anteriormente mencionados. A continuación se citarán a varios profesionales dentro de esta área de investigación, indicando un antecedente cronológico. Se cita primero a John Sternheimer, quien realizó experimentos para regular la biosíntesis de proteínas en plantas (United States Patente nº US 2002/01777186 A1, 2002). Luego, se resume un artículo de Clare Sansom, quien cita a varios investigadores y artistas que han realizado trabajos compositivos; se describe brevemente los métodos y técnicas que usan para transformar secuencias de proteínas y ADN en melodías y obras musicales (Sansom, DNA makes protein- makes music, 2002, págs. 39, 40).

La primera persona en encontrar esta relación fue el físico y músico francés Joel Sternheimer en 1999. Sternheimer propuso y patentó en 2002 un método

científico que analiza la emisión de señales de naturaleza cuántica de una proteína en una frecuencia específica; luego esta frecuencia es transpuesta a notas musicales. Este descubrimiento tuvo varias aplicaciones, ya que se pudo deducir una melodía a partir de una secuencia de aminoácidos de cualquier proteína. Estas melodías pueden estimular o inhibir la síntesis de sus proteínas correspondientes dentro de un organismo, delimitando así sus funciones biológicas (figura 13) (United States Patente nº US 2002/01777186 A1, 2002).

Chalcone synthase

Pigmentation enzyme
of *Petunia hybrida* flowers
IN INHIBITION
Beginning

M V T V E E Y R K A Q R A E G P A T V M

A I G T A T P T N C V D Q S T Y P D Y Y

Figura 13. Melodía para la Chalcona sintasa como inhibidor. Tomado de Sternheimer, 2002.

Posteriormente tenemos así a varios artistas y científicos que han incursionado en este campo compositivo-experimental: el trabajo de Linda Long, quien creó un sitio web (www.molecularmusic.com) donde genera música a partir de moléculas biológicas; Susumu Ohno, del *Beckman Research Institute*, fue la primera persona en proponer que “el proceso de repetición gobierna tanto a la composición musical como a la construcción de una secuencia de ADN” (traducido del artículo de Sansom) (Sansom, DNA makes protein- makes music, 2002). El trabajo colaborativo entre la bióloga Mary Ann Clark y el artista John Dunn resultó en el desarrollo de un algoritmo que convierte las estructuras proteicas en secuencias musicales (Sansom, DNA makes protein-makes music, 2002, pág. 39); Warren Burt creó un set de seis piezas musicales titulado *Nightshade Etudes Book One*, donde utiliza patrones proteicos de las seis familias vegetales de las *Solanaceae* (Burt, *Nightshade Etudes Book 1 - a new mini-album*, 2012). Por otro lado, Ross King, de la Universidad de Wales, Aberystwyth, y el músico pop escocés Colin Angus desarrollaron un programa

que crea música a partir de las secuencias de ADN, el cual está titulado *Protein Music* (título confuso, ya que las secuencias musicalizadas son de ADN y no de proteínas) (Sansom, DNA makes protein- makes music, 2002, pág. 39); Brent Hugh, un pianista estadounidense, ha compuesto una obra titulada *Music of Human Genome* con partes de las secuencias de los cromosomas humanos 1, 2, 3, 4, 5, y 22. Susan Alexjander, compositora radicada en Sacramento, CA, colaboró con el biólogo David Deamer para usar el espectro de absorción de la luz en las bases nitrogenadas del ADN para generar notas musicales. Por último tenemos a Juan Valdano López, un compositor ecuatoriano, investigador musical y pianista de jazz, que desarrolló un sistema de composición donde incursiona en el análisis y aplicación del I-ching y el sistema de los átomos para crear otras propuestas musicales (López J. V., 2011, pág. 7).

Siguiendo este bagaje musical experimental, se ha escogido a dos compositores que han encontrado distintas formas de musicalizar a las proteínas: la bióloga Marie Anne Clark y el músico Warren Burt. Ambos han desarrollado métodos compositivos peculiares donde utilizan modelos matemáticos complejos, y un análisis de las características físico-químicas. Ambos compositores fueron asistidos por John Dunn, los cuales usaron el software tipo *DAW ArtWonk* (creado por Dunn) para grabar y producir sus obras.

1.3.1. Compositores y métodos compositivos.

1.3.1.1. Marie Anne Clark.

La bióloga Mary Anne Clark se preguntaba cómo podría sonar una célula mientras se paseaba por los pasillos de la facultad de música en la Universidad de Wesleyan, Texas. Esta interrogante invadía su mente al escuchar fragmentos de música muy antigua, interpretada por estudiantes de su universidad (Clark & Dunn, 1999). Fue así que, al asistir a un seminario para escuchar a sus colegas hablar acerca de la composición musical, dedujo un paralelismo entre la estructura musical, la estructura de las proteínas y los genes que los codifican (Clark & Dunn, 1999).

Clark explica que hay cerca de 20 aminoácidos en las proteínas, suficientes para cubrir una extensión de 3 octavas en una escala diatónica. Los aminoácidos no están arreglados al azar, así como las notas en una pieza musical. Tanto las proteínas como la música son significativas. Esto quiere decir que, el sentido de una proteína determina su función dentro de un organismo. Por ejemplo, La proteína hemoglobina cumple la función de transporte de oxígeno. Algunas características de la secuencia de la hemoglobina, o “melodía” de esta proteína, se pueden observar al comparar esta melodía (secuencia) en diferentes especies, viendo así una ‘variación melódica’ dentro de un mismo ‘tema’. Si se compara la secuencia de una sección de la hemoglobina (beta globina) entre un humano y un tuatara (una lagartija exótica de tres ojos), se observa esta variación “melódica” entre las secuencias de aminoácidos (figura 14) (Clark & Dunn, 1999).

Human:	VHLTP	EEKSA	VTALW	GKVVN	DEVGG	EALGR	LLVVY	PWTQR	FFESF	GDLST
Tuatara:	VHWTQ	EEKQL	VTSLW	TKVVN	DECGG	EALGR	LLIVY	PWTQR	FFSSF	GNLSS
	PDAVM	GNPKV	KAHGK	KVLGA	FSDGL	AHLDN	LKGTG	ATLSE	LHCDK	LHVDP
	STAIC	GNPRV	KAHGK	KVFTS	FGEAV	KNLDN	IKATY	AKLSE	LHCEK	LHVDP
	ENFRL	LGNVL	VCVLA	HHFGK	EFTPP	VQAAY	QKVVA	GVANA	LAHKY	H
	QNFNL	LGDIF	IIVLA	AHFGK	DFTPA	CQAAW	QKLVR	VVAHA	LAYHY	H

Figura 14. Beta Globina: Comparación de secuencias entre humano y tuatara. Adaptada de Clark & Dunn, 1999.

La secuencia de la hemoglobina, y de todas las proteínas proviene del ADN. El ADN (ácido desoxirribonucleico) se asocia directamente con la información de las proteínas. El alfabeto del ADN está conformado de 4 elementos sencillos [T (Timina), C (Citosina), A (Adenina) y G (Guanina)] que pueden formar 20 “letras” (aminoácidos), que en ciertas combinaciones forman la base para toda la vida del planeta. La combinación de estos 4 elementos se los llama codones. Existen 64 combinaciones posibles de codones, de los cuales 61 codifican los 20 aminoácidos, mientras que los tres restantes sirven como señal de “alto”, indicando el fin de la secuencia de una proteína, así como un punto indica el fin de una oración (Tabla 1). Para Clark, las secuencias ADN/Proteínas prueban tener una alta y profunda resonancia estructural que, al ser transmitida en

música, suena extraño y familiar, como la música de otra cultura: inusualmente placentera pero inestable (Clark & Dunn, 1999).

Tabla 1. Aminoácidos con sus abreviaciones y codones. Tomado de Clark & Dunn, 1999.

Amino acid	SLC	DNA codons
Isoleucine	I	ATT, ATC, ATA
Leucine	L	CTT, CTC, CTA, CTG, TTA, TTG
Valine	V	GTT, GTC, GTA, GTG
Phenylalanine	F	TTT, TTC
Methionine	M	ATG
Cysteine	C	TGT, TGC
Alanine	A	GCT, GCC, GCA, GCG
Glycine	G	GGT, GGC, GGA, GGG
Proline	P	CCT, CCC, CCA, CCG
Threonine	T	ACT, ACC, ACA, ACG
Serine	S	TCT, TCC, TCA, TCG, AGT, AGC
Tyrosine	T	TAT, TAC
Tryptophan	W	TGG
Glutamine	Q	CAA, CAG
Asparagine	N	AAT, AAC
Histidine	H	CAT, CAC
Glutamic acid	E	GAA, GAG
Aspartic acid	D	GAT, GAC
Lysine	K	AAA, AAG
Arginine	R	CGT, CGC, CGA, CGG, AGA, AGG
Stop codons	Stop	TAA, TAG, TGA

Debido a que las propiedades de los aminoácidos son importantes para determinar los patrones de plegamiento (estructuras secundarias), Clark decidió ordenar los aminoácidos de acuerdo a su solubilidad en agua. Los residuos con mayor insolubilidad fueron asignados como notas bajas, las más solubles equivalían a notas altas, y los aminoácidos con una insolubilidad moderada entraban en un rango medio. Las notas eran distribuidas en tres octavas de una escala diatónica, dos octavas para una escala cromática, y cerca de cuatro octavas para escalas pentatónicas y de tonos enteros (Clark & Dunn, 1999).

1.3.1.2. Warren Burt.

Para Warren Burt todo comenzó al leer un artículo que explicaba acerca del genoma del tomate, siendo este el más largo entre las plantas. Al mismo tiempo, su esposa Catherine estaba bajo una dieta estricta, la cual consistía en no consumir ninguna planta de la familia de las *Solanaceae* (como el tomate). Debido a estas circunstancias, surge la idea de componer en base a los patrones del ADN del tomate, lo cual dio como resultado su proyecto musical *Nightshade Etudes* (tomado de notas del autor) (Burt, *Nightshade Etudes Book 1 - a new mini-album*, 2012).

Para poder dar una lógica musical al ADN de las *Solanaceae*, Burt tomó como referencias al modelo matemático de escalas *MOS* (*Moments of Symetry*) de Erv Wilson y la serie Fibonacci (Tomado de las notas del autor) (Burt, *Nightshade Etudes Book 1 - a new mini-album*, 2012). Estas escalas tipo *MOS* se logran al aplicar un límite proporcional entre los intervalos musicales y, aplicando ese intervalo el número de veces necesario, se obtiene una nueva escala musical con una distancia interválica única. Si la escala resultante tiene solamente dos tipos de intervalos melódicos se la llama escala *MOS*. Si, por el contrario, la escala tendrá 3 tipos de intervalos melódicos, esta será un subconjunto de la escala *MOS* con un gran número de notas. Este modelo matemático de Erv Wilson, da como resultado escalas micro-tonales, ya que las distancias interválicas determinadas no están contempladas en las escalas convencionales (Burt, *Nightshade Etudes Book 1 - a new mini-album*, 2012).

Burt entonces se dio cuenta que podía crear escalas de veintiún notas (basándose en el trabajo de Marie Anne Clark y John Dunn) al usar límites proporcionales entre intervalos dentro de una secuencia aditiva, tal como Wilson lo había hecho. Wilson descifró un límite proporcional de 197 secuencias diferentes, de las cuales Burt formó una familia larga de escalas usando las once primeras secuencias. Tuvo como resultado escalas de doce notas, que posteriormente fue desarrollándolas para obtener escalas de veintiún notas usando el método de Wilson (Burt, *Nightshade Etudes Book 1 - a*

new mini-album, 2012). Cada una de estas escalas de veintiuna notas se relaciona con los veintiún aminoácidos existentes.

La relación entre los aminoácidos y las notas musicales lo desarrolló en dos partes. Primero, asigna un número a cada nota con un número de forma ordenada (0,1, 2, 3, 4, 5, etc.), por ejemplo a doce notas de la misma naturaleza (con intervalo de 5tas entre cada nota): C (0) – G (1) – D (2) – A (3) – E (4) – B (5) – F# (6) - etc. Segundo, considera la prevalencia de aminoácidos (ej. Isoleucina con mayor cantidad, luego Valina, etc.), asignando un número según la prevalencia: (0– Isoleucina (I); 1 – Valina (V); 2 – Leucina (L); etc.). Así relaciona las notas con aminoácidos haciendo corresponder los números asignados en ambos casos (tabla 2).

Tabla 2. Notas musicales - Aminoácidos según el método de Warren Burt.

Notas (5tas)	C	G	D	A	E	B	F#
Números	0	1	2	3	4	5	6
Aminoácidos por prevalencia	I	V	L	P	S	G	M

Es así como Warren Burt traduce la secuencia de una proteína usando escalas MOS. Según el modelo matemático de Erv Wilson, crea diferentes sonidos y melodías dando combinaciones armónicas casi infinitas de naturaleza micro-tonal.

Capítulo 2. El sonido de las proteínas (método compositivo)

En este capítulo se describe el desarrollo del método compositivo propuesto, sus características y los diferentes modos de usarlo. Se parte desde un desarrollo melódico con los aminoácidos, las posibilidades armónicas, y los patrones rítmicos; toda esta información es analizada desde la relación músico-biológica explicada en este capítulo.

El enfoque estético se centra en la experimentación dentro de los conceptos del movimiento musical serialista. El formato instrumental consta de: batería, bajo, guitarra, teclado (sintetizador). Por último, el género musical sobre el cual se compondrá es *rock* progresivo, fusionando, en algunos casos, con géneros ecuatorianos según el enfoque estético de cada obra.

2.1. Relaciones músico-moleculares.

El primer parámetro para analizar es la asignación de notas musicales a los aminoácidos; por lo que, basándose en los métodos compositivos de Clark y Burt, mencionados en el capítulo anterior, se toma como punto de partida la asignación numérica a los aminoácidos. Es así como se confiere un orden para asignar notas específicas a los veintiún aminoácidos existentes. Se evitará usar un sistema que genere intervalos micro-tonales, con el propósito de usar recursos musicales e instrumentación convencionales.

Obteniendo una relación nota-aminoácido se establece una secuencia melódica. A partir de un análisis de esta melodía se genera una escala, la cual será un cimiento importante en el desarrollo armónico y motivico. Por otra parte, la armonía se deriva de los acordes resultantes del análisis armónico de las escalas creadas, de la utilización de armonía por estructuras constantes, y/o el uso de armonía tonal funcional.

Por último, la rítmica y métrica son impuestas según la conceptualización de cada obra y de sus respectivas proteínas secuenciadas. Las biomoléculas

escogidas para aplicar el método compositivo son: el ADN Polimerasa, que replica el código genético para futuras generaciones; el Fotosistema I, que genera energía para el crecimiento y desarrollo de plantas; y el Activador Harakiri, que es una señal programada de muerte celular. Estas biomoléculas son importantes en las tres etapas de vida en una célula: reproducción, crecimiento y desarrollo, y muerte; es así que las tres composiciones harán referencia al ciclo de la vida.

2.1.1. Traducción de aminoácidos a notas musicales.

Como se mencionó anteriormente, la melodía se construye a partir de la secuencia de aminoácidos dentro de una proteína. El uso de un método numérico es imperativo para la asignación de notas musicales. Es así que se procedió a analizar las características físicas y químicas de los aminoácidos. Esta elección se enfoca en la masa molecular de cada aminoácido (la cual está directamente relacionada con la complejidad estructural de cada molécula). A diferencia de Clark y Burt, los cuales basan sus obras musicales en las propiedades químicas o en modelos matemáticos complejos, en esta investigación la proporción matemática se ha desarrollado en base al vínculo entre masa y frecuencia de resonancia de los aminoácidos (López J. V., 2011).

Surge entonces la pregunta ¿por qué se debe analizar la masa molecular? La respuesta reside en la naturaleza vibratoria de átomos y moléculas, en teorías cuánticas y en las propiedades de las ondas. Se demuestra que existe un orden de los aminoácidos dado por la relación directa entre la frecuencia de vibración y la masa molecular. Esta característica soluciona el problema de obtener un orden de aminoácidos que vaya acorde a la disposición convencional de las notas musicales. Como se sabe, una escala es el subconjunto de n números de tonos (Levitin, 2011). A medida que las frecuencias de cualquier escala van desde las notas más bajas hacia las más altas, así mismo se irán ordenando los aminoácidos, los cuales tiene una

resonancia específica que varía según la masa molecular de cada aminoácido (menor masa = menor frecuencia; mayor masa = mayor frecuencia).

Como se menciona en el párrafo anterior, la relación de frecuencias entre aminoácidos y notas se ve fundamentada en la teoría cuántica de Planck, en los estudios de Maxwell, y de De Broglie. En primera instancia, Planck determinó que “los átomos y las moléculas podían emitir (o absorber) energía radiante sólo en cantidades discretas”; tales cantidades se los ve como ‘paquetes’ o ‘cúmulos’ denominados como ‘cuantas’ (Chang, 1999, pág. 246). Así mismo, “el modelo de Maxwell describe con exactitud cómo se puede propagar la energía en forma de radiación a través del espacio como una vibración de campos magnéticos y eléctricos” (Chang, 1999, pág. 248). La energía de una sola de estas ‘cuantas’ está dada por la fórmula $E = h * \nu$, donde E es energía, h es la constante de Planck ($6.63 * 10^{-34}$ Js.), y ν es la frecuencia la radiación (Chang, 1999, pág. 250). Esto se observa cuando se somete a calentamiento cualquier sólido, donde se ve la emisión de radiación electromagnética que puede ser percibida como una luz rojiza tenue de un calentador eléctrico, o en la luz blanca brillante de una lámpara de tungsteno (Chang, 1999, pág. 152).

Así mismo, De Broglie dedujo que, si las ondas de luz tienen un comportamiento de partículas (fotones), estas partículas, como los electrones, deben tener propiedades ondulatorias. Es así que logró deducir una expresión que relaciona a las propiedades de una partícula con las de una onda: $\lambda = \frac{h}{m*u}$, donde λ es la longitud de onda, m la masa de estas partículas, y u la velocidad.

En este punto de la investigación, se deduce la relación matemática entre la teoría de Planck y de De Broglie, con la expresión matemática que relaciona las propiedades del movimiento de ondas: $u = \lambda * \nu$, siendo ν la frecuencia de onda, u la velocidad de onda y λ la longitud de onda.

a. Ecuaciones utilizadas:

$$1. u = \lambda * v \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$2. E = h * v \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$3. \lambda = \frac{h}{m*u} \quad (\text{Ecuación 3})$$

b. Despejo λ de ecuación 1.

$$4. \lambda = \frac{u}{v} \quad (\text{Ecuación 4})$$

c. Reemplazo ecuación 4 en ecuación 3.

$$5. \frac{u}{v} = \frac{h}{m*u} \quad (\text{Ecuación 5})$$

d. Despejo v de ecuación 5.

$$v = \frac{u^2 * m}{h} \quad (\text{Ecuación 6})$$

e. Como De Broglie demostró que las ondas se comportan como partículas, u^2 se reemplaza por la velocidad de la luz al cuadrado c^2

$$v = \frac{c^2 * m}{h}$$

Es así que se obtiene la siguiente expresión: $v = \frac{c^2 * m}{h}$, donde v la frecuencia, m la masa, c la velocidad de la luz ($3.00 * 10^8$), y h la constante de Plank ($6.63 * 10^{-34}$ Js). Se observa, al hacer un análisis de esta fórmula, que la frecuencia de una sustancia es directamente proporcional a su masa. Por lo tanto, se demuestra matemática y físicamente que a menor masa la frecuencia será baja, y si aumenta la masa la frecuencia será mayor.

En el caso de los aminoácidos, la variación de la masa se da por el grupo R, el cual confiere la diferenciación entre un aminoácido y otro (figura 15).

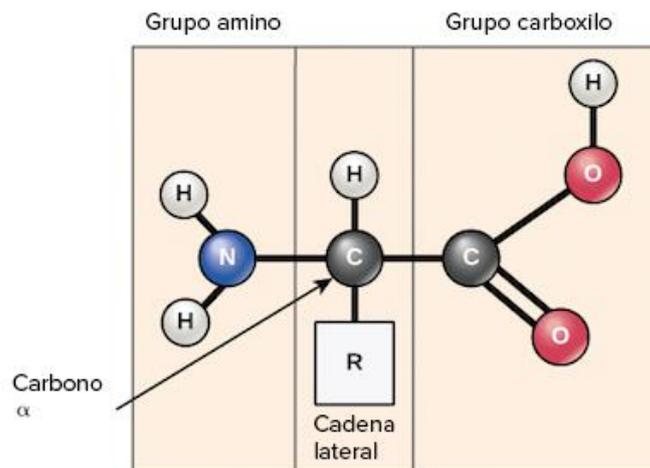


Figura 15. Estructura general de un aminoácido. Tomado de Khan Academy, s.f.

Bajo este concepto se ordenó los aminoácidos de menor masa a mayor masa, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Asignación de notas a aminoácidos

Aminoácidos	Abreviación	Escala Cromática
Glicina	G	C3
Alanina	A	C#3 / Db3
Serina	S	D3
Cisteina	C	D#3 /Eb3
Treonina	T	E3
Valina	V	F3
Leucina	L	F#3 /Gb3
Isoleucina	I	G3
Aspargina	N	G#3 /Ab3
Ác. Aspártico	D	A3
Metionina	M	A#3 /Bb3
Lisina	K	B3
Glutamina	Q	C4
Ác. Glutámico	E	C#4 /Db4
Prolina	P	D4
Arginina	R	D#4 /Eb4
Histidina	H	E4
Fenilalanina	F	F4
Tirosina	Y	F#4 /Gb4
Triptófano	W	G4

De esta manera se asignó la correspondencia nota-aminoácido. La distancia interválica entre notas se determina según el tipo de escala por analizar, por ejemplo una escala cromática. Es así que se puede utilizar diversos intervalos para obtener más opciones melódicas y armónicas. En la tabla 4 se observan las variaciones de intervalos y sus equivalencias con aminoácidos. Cabe recalcar que no se usaron todas las escalas en las composiciones; de la tabla 4 se analizó una escala por cada composición, demostrando la plasticidad de esta técnica para poder dar una equivalencia con diferentes escalas. De igual modo, estas pueden ser transportadas a otras tonalidades.

Tabla 4. Equivalencia de aminoácidos con diferentes intervalos.

Aminoácidos	Escala Cromática	Escala Diatónica en C	Escala de Tono Enteros	Escala Simétrica 1 tono – ½ tono	Interv. 3ras	Interv. 4tas	Escala Ecuatoriana*
Glicina	G C3	C3	C2	C2	C1	C1	C2
Alanina	A C#3 / Db3	D3	D2	D2	E1	F1	D2
Serina	S D3	E3	E2	Eb2	G1	Bb1	Eb2
Cisteina	C D#3 /Eb3	F3	F#2 / Gb2	F2	B1	Eb2	F2
Treonina	T E3	G3	G#2 / Ab2	Gb2	D2	Ab2	F#2
Valina	V F3	A3	A#2 / Bb2	Ab2	F2	Db3	G2
Leucina	L F#3 /Gb3	B3	C3	A2	A2	Gb3	A2
Isoleucina	I G3	C4	D3	B2	C3	B3	Bb2
Aspargina	N G#3 /Ab3	D4	E3	C3	E3	E4	B2
Ác. Aspártico	D A3	E4	F#3 / Gb3	D3	G3	A4	C3
Metionina	M A#3 /Bb3	F4	G#3 / Ab3	Eb3	B3	D5	D3
Lisina	K B3	G4	A#3 / Bb3	F3	D4	G5	Eb3
Glutamina	Q C4	A4	C4	Gb3	F4	C6	F3
Ác. Glutámico	E C#4 /Db4	B4	D4	Ab3	A4	F6	F#3
Prolina	P D4	C5	E4	A3	C5	Bb6	G3
Arginina	R D#4 /Eb4	D5	F#4 / Gb4	B3	E5	Eb7	A3
Histidina	H E4	E5	G#4 / Ab4	C4	G5	Ab7	Bb3
Fenilalanina	F F4	F5	A#4 / Bb4	D4	B5	Db8	C4
Tirosina	Y F#4 /Gb4	G5	C5	Eb4	D6	Gb8	D4
Triptófano	W G4	A5	D5	F4	F6	B8	Eb4

Nota: *La escala ecuatoriana está tomado de la definición de "Quique" Sánchez en la tesis de Lenin Estrella sobre el estudio comparativo para una definición de

las manifestaciones rítmicas de la "misquilla" en el aire típico y el albazo (Estrella, 2017, págs. 26-27).

2.1.2. Determinación de una melodía, una escala y una estructura armónica.

Una vez asignadas las notas a cada aminoácido se procede a realizar un análisis de la secuencia traducida para determinar una escala. Esta escala es fundamental para desarrollar la armonía que se usará en cada composición. En la figura 16 se observa la traducción de una serie de aminoácidos a notas musicales usando la tabla 4, a la cual se le dará un tratamiento melódico más adelante.

Secuencia 63 - 83
Cromático en C

L L R N L H A N G A S F F F I C I Y L H I

Figura 16. Secuencia de aminoácidos de la proteína Citocromo b traducida a notas. Organismo de origen: *Pseudacris regilla*.

En la figura 17 se puede observar el mismo ejemplo del Citocromo b pero con diferentes intervalos.

Diatónico en C

L L R N L H A N G A S F F F I C I Y L H I

Tonos Enteros en C:

L L R N L H A N G A S F F F I C I Y L H I

Figura 17. Secuencia de Citobromo b en diferentes intervalos.

este concepto se debe tener en consideración los siguientes puntos al momento de utilizar la melodía, escala y armonía resultantes:

- Repetición a lo largo de la composición.
- Construcción de un sistema organizado.
- Formulación de series compuestas por notas y por agrupación de notas.
 - Acordes o eventos expresivos – musicales.

Finalmente, se pueden usar varios recursos del serialismo para modificar a la serie original y así crear otras variaciones melódicas que partan de una secuencia inicial. Estas modificaciones son dos de los cuatro postulados de Schönberg para el serialismo (Romero, 2004, pág. 93):

1. Modificaciones en el aspecto lineal de la melodía: inversión y retrogradación de la melodía.
2. Combinando inversión con retrogradación, o retrogradación con inversión

2.1.3. Determinación de la rítmica.

Para la determinación de la rítmica (duración de las notas, compás y tempo) se dejó a libre elección, ya que el concepto de cada obra varía. En este aspecto, se deja trabajar a la creatividad e intuición del compositor al momento de conceptualizar la proteína, de darle un uso y analizar cada una de estas biomoléculas, ya sea que se componga en base al género del rock progresivo, o en otros géneros, por ejemplo un yumbo. En el caso de las obras de este trabajo, los temas estéticos que representan las tres composiciones giran en torno al ciclo de la vida y a la evolución; el formato de cuatro instrumentos (teclado, guitarra, bajo y batería) representa a las cuatro bases nitrogenadas del ADN (adenina, timina, guanina y citosina), los cuales son elementos que contienen la información para crear una proteína, así como los instrumentos son elementos para crear una obra musical.

Capítulo 3. De la proteína a la partitura (aplicación de la técnica compositiva desarrollada).

3.1. Descripción general.

En este capítulo se describe el concepto estético de las tres composiciones y el uso de la técnica desarrollada. Debido a que el tema del presente trabajo se basa en proteínas, se escogieron tres de estas moléculas para analizarlas y musicalizarlas, las cuales son: ADN Polimerasa de *Thermococcus barophilus*, FOTOSISTEMA I de *Polylepis reticulata*, y un Activador de apoptosis Harakiri de *Homo sapiens*.

A continuación, se justificará el uso de estas tres proteínas; posterior a esto, se explicará la aplicación de la técnica en un ejemplo corto. Finalmente, se desarrollará la utilización de la técnica propuesta con las tres composiciones.

3.1.1. Descripción de la propuesta estético-molecular

Para el enfoque estético de las tres obras, el ciclo de la vida y la evolución, es imperativo conocer la función de cada proteína, y el tipo de organismo del cual se extrajo la secuencia de aminoácidos. En primer lugar, estas proteínas fueron seleccionadas para que reflejen el concepto de evolución y del ciclo de la vida. Partimos mencionando al primer organismo, *Thermococcus barophilus*. Dicho organismo pertenece a especie *Thermococcus* (Anitori, 2012, págs. 120,121), el cual es parte de un grupo de bacterias del tipo hipertermófilas; esto quiere decir que es una bacteria que vive en ambientes terrestres o submarinos con altas temperaturas, simulando las condiciones de la Tierra en la formación temprana de la biósfera (Anitori, 2012, pág. 109). Es así que *Thermococcus barophilus*, siendo una arqueobacteria, está relacionada con el origen de la vida al ser parte de un grupo bacteriano antiguo (Farmer, 1998).

El siguiente organismo es *Polylepis reticulata*. Esta especie es un árbol nativo de los páramos húmedos y nublados del Ecuador, pero también se los suele encontrar en valles y en crestas (Simpson, 1979, pág. 37). Se extiende desde

la zona central hacia el sur del país (Simpson, 1979, pág. 37). Es conocida también como *quiña*, *quinoar* o *yagual* (Simpson, 1979, pág. 37).

Por último, tenemos al *Homo sapiens*, el ser humano como representante de un organismo vivo actual en el árbol evolutivo. Es así que la elección de estos seres vivos muestra un desarrollo evolutivo basándose en las etapas la aparición de cada uno de estos organismos a través de la historia de la vida en la Tierra.

Por otro lado cada proteína cumple una función específica para todo ser vivo: el ADN Polimerasa replica el código genético de las células para transmitirlo a futuras generaciones (Lodish, 2005, pág. 134); el Fotosistema I genera energía para el crecimiento y desarrollo de plantas (Lodish, 2005, pág. 333); y el Activador de apoptosis Harakiri es una señal programada de muerte celular (Lodish, 2005, pág. 924). Entonces, por medio de las funciones biológicas, las tres proteínas también hacen referencia al ciclo de la vida: nacer, crecer y morir.

Las secuencias completas de aminoácidos de las tres proteínas musicalizadas se obtuvieron de la base de datos de PubMed (www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/), y las regiones específicas para la traducción a notas de cada una de estas secuencias proteicas se obtuvieron de la base de datos UniProt (www.uniprot.org).

A continuación se explicarán los pasos seguidos para la aplicación de la técnica de composición propuesta.

3.2. Ejemplo de aplicación de la técnica compositiva desarrollada.

En esta sección primero se ejemplifica el uso de la técnica de composición con la proteína Citocromo b de *Pseudacris regilla*. Para lo cual se buscó en la base de datos PubMed la secuencia completa esta proteína (figura 15).

The screenshot shows a web browser with three tabs: 'pseudacris regilla', 'taxonomy:"Pseu', and 'Cytochrome b'. The address bar shows 'https://www.ncbi.nlm.nih.gov'. The page is the NCBI Protein search results for 'pseudacris regilla cytochrome b'. The search bar contains 'pseudacris regilla cytochrome b' and a search button. Below the search bar, there are filters for 'Protein', 'Species', 'Source databases', 'Genetic compartments', 'Sequence length', 'Molecular weight', 'Release date', and 'Revision date'. The results section shows 'Items: 41 to 60 of 83'. Three items are listed, all labeled 'cytochrome b, partial (mitochondrion) [Pseudacris regilla]'. Each item is a '202 aa protein' with an accession number (ABB02499.1, ABB02498.1, ABB02497.1) and a GI number (77745189, 77745187, 77745185). Links for 'Nucleotide', 'PubMed', 'Taxonomy', 'Related Sequences', 'GenPept', 'Identical Proteins', 'FASTA', and 'Graphics' are provided for each item. On the right side, there are sections for 'Find related data', 'Search details', and 'Recent activity'.

Figura 15. Búsqueda de proteína en base de datos PubMed.

A continuación, se seleccionó la proteína Citocromo b de 202 aminoácidos para encontrar su secuencia original completa (figura 16).

ORIGIN

```

1 fidlpapsnl sswwnygsll glclilqiat glflamhyta dtsmsfssva hiecrdvnnwg
61 llrnlhanga sfficiylh igrgvyygsf lfketwnvgv illflvmata fvgyvlpwgq
121 msfwgatvit nllsaapyig gdlvqwiwgg fsvdnatltr fffhfilpf iigasmihl
181 flhqtgssn piglnspdk ip

```

//

Figura 16 Secuencia completa de Citocromo b de *Pseudaris regilla*

Se insertó la secuencia completa en el buscador UniProt (figura 17) para escoger una sección específica de entre toda la secuencia del Citocromo b.

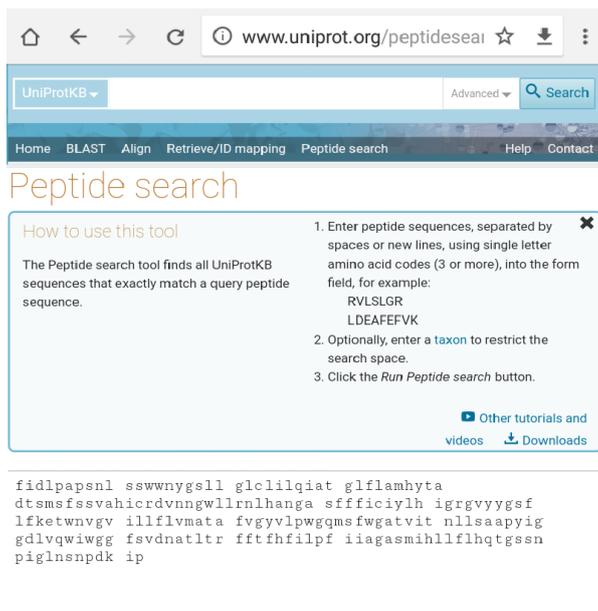


Figura 17. Búsqueda de secuencia de Citocromo b en UniProt.

Al encontrar la información de secciones específicas de la proteína (figura 18 y 19), se procedió a la traducción a notas usando una matriz creada en *Excel* (figura 20).

Feature key	Position(s)	Description	Actions	Graphical view	Length
Transmembrane ⁱ	13 – 39	Helical	Sequence analysis Add BLAST		27
Transmembrane ⁱ	60 – 81	Helical	Sequence analysis Add BLAST		22
Transmembrane ⁱ	96 – 116	Helical	Sequence analysis Add BLAST		21
Transmembrane ⁱ	123 – 141	Helical	Sequence analysis Add BLAST		19
Transmembrane ⁱ	161 – 183	Helical	Sequence analysis Add BLAST		23

Feature key	Position(s)	Description	Actions	Graphical view	Length
Domain ⁱ	1 – 192	CYTB_NTER	InterPro annotation Add BLAST		192

Figura 18. Información de la proteína en la base de datos UniProt.

cytochrome b, partial (mit) x www.uniprot.org/blast/? x

www.uniprot.org/blast/?about=Q1HW80[13-39]&key=Transmembrane

Clear Run BLAST

Sequence feature

Entry & position(s)	Q1HW80[13 - 39]
Description	Cytochrome b, Pseudocis regilla
Feature key	Transmembrane
Feature identifier	

```

10      20      30      40      50
FIDLPTPSNL SSWNYGSLL GLCLILQIAT GLFLAMHYA DTSMFSSVA
60      70      80      90     100
HICRDVNWGW LLRNLANGA SFFFCIYLH IGRGVYYSF LFKETWNVGV
110     120     130     140     150
ILLFLVMATA FVGYPWPWQ MSFWGATVIT NLLSAAPYIG GDLVQWIWGG
160     170     180     190     200
FSVDNATLTR FFTHFILPF IAGASMIHL LFLHQTGSSN PIGLNSNPK
IP
    
```

Figura 19. Secuencia específica mostrada en UniProt

TABLAS DE EQUIVALENCIAS NOTA - AMINOACIDOS - Microsoft Excel (Product Activation Failed)

Aminoácidos	Escala Cromática	Escala Diatónica	Escala de Tono Entero	Tono - W2 tono	Escala Simétrica/Interv. 3ras	Interv. 4tas	Escala Escalatoria
S	D3	D3	E3	F3	G3	A3	B3
W	E3	E3	F3	G3	A3	B3	C4
N	F3	F3	G3	A3	B3	C4	D4
C	G3	G3	A3	B3	C4	D4	E4
L	A3	A3	B3	C4	D4	E4	F4
I	B3	B3	C4	D4	E4	F4	G4
M	C4	C4	D4	E4	F4	G4	A4
H	D4	D4	E4	F4	G4	A4	B4
R	E4	E4	F4	G4	A4	B4	C5
K	F4	F4	G4	A4	B4	C5	D5
P	G4	G4	A4	B4	C5	D5	E5
Q	A4	A4	B4	C5	D5	E5	F5
F	B4	B4	C5	D5	E5	F5	G5
Y	C5	C5	D5	E5	F5	G5	A5
V	D5	D5	E5	F5	G5	A5	B5
M	E5	E5	F5	G5	A5	B5	C6
I	F5	F5	G5	A5	B5	C6	D6
L	G5	G5	A5	B5	C6	D6	E6
V	A5	A5	B5	C6	D6	E6	F6
W	B5	B5	C6	D6	E6	F6	G6
F	C6	C6	D6	E6	F6	G6	A6
Y	D6	D6	E6	F6	G6	A6	B6
V	E6	E6	F6	G6	A6	B6	C7
M	F6	F6	G6	A6	B6	C7	D7
H	G6	G6	A6	B6	C7	D7	E7
R	A6	A6	B6	C7	D7	E7	F7
K	B6	B6	C7	D7	E7	F7	G7
P	C7	C7	D7	E7	F7	G7	A7
Q	D7	D7	E7	F7	G7	A7	B7
F	E7	E7	F7	G7	A7	B7	C8
Y	F7	F7	G7	A7	B7	C8	D8
V	G7	G7	A7	B7	C8	D8	E8
M	A7	A7	B7	C8	D8	E8	F8
H	B7	B7	C8	D8	E8	F8	G8
R	C8	C8	D8	E8	F8	G8	A8
K	D8	D8	E8	F8	G8	A8	B8
P	E8	E8	F8	G8	A8	B8	C9
Q	F8	F8	G8	A8	B8	C9	D9
F	G8	G8	A8	B8	C9	D9	E9
Y	A8	A8	B8	C9	D9	E9	F9
V	B8	B8	C9	D9	E9	F9	G9
M	C9	C9	D9	E9	F9	G9	A9
H	D9	D9	E9	F9	G9	A9	B9
R	E9	E9	F9	G9	A9	B9	C10
K	F9	F9	G9	A9	B9	C10	D10
P	G9	G9	A9	B9	C10	D10	E10
Q	A9	A9	B9	C10	D10	E10	F10
F	B9	B9	C10	D10	E10	F10	G10
Y	C10	C10	D10	E10	F10	G10	A10
V	D10	D10	E10	F10	G10	A10	B10
M	E10	E10	F10	G10	A10	B10	C11
H	F10	F10	G10	A10	B10	C11	D11
R	G10	G10	A10	B10	C11	D11	E11
K	A10	A10	B10	C11	D11	E11	F11
P	B10	B10	C11	D11	E11	F11	G11
Q	C11	C11	D11	E11	F11	G11	A11
F	D11	D11	E11	F11	G11	A11	B11
Y	E11	E11	F11	G11	A11	B11	C12
V	F11	F11	G11	A11	B11	C12	D12
M	G11	G11	A11	B11	C12	D12	E12
H	A11	A11	B11	C12	D12	E12	F12
R	B11	B11	C12	D12	E12	F12	G12
K	C12	C12	D12	E12	F12	G12	A12
P	D12	D12	E12	F12	G12	A12	B12
Q	E12	E12	F12	G12	A12	B12	C13
F	F12	F12	G12	A12	B12	C13	D13
Y	G12	G12	A12	B12	C13	D13	E13
V	A12	A12	B12	C13	D13	E13	F13
M	B12	B12	C13	D13	E13	F13	G13
H	C13	C13	D13	E13	F13	G13	A13
R	D13	D13	E13	F13	G13	A13	B13
K	E13	E13	F13	G13	A13	B13	C14
P	F13	F13	G13	A13	B13	C14	D14
Q	G13	G13	A13	B13	C14	D14	E14
F	A13	A13	B13	C14	D14	E14	F14
Y	B13	B13	C14	D14	E14	F14	G14
V	C14	C14	D14	E14	F14	G14	A14
M	D14	D14	E14	F14	G14	A14	B14
H	E14	E14	F14	G14	A14	B14	C15
R	F14	F14	G14	A14	B14	C15	D15
K	G14	G14	A14	B14	C15	D15	E15
P	A14	A14	B14	C15	D15	E15	F15
Q	B14	B14	C15	D15	E15	F15	G15
F	C15	C15	D15	E15	F15	G15	A15
Y	D15	D15	E15	F15	G15	A15	B15
V	E15	E15	F15	G15	A15	B15	C16
M	F15	F15	G15	A15	B15	C16	D16
H	G15	G15	A15	B15	C16	D16	E16
R	A15	A15	B15	C16	D16	E16	F16
K	B15	B15	C16	D16	E16	F16	G16
P	C16	C16	D16	E16	F16	G16	A16
Q	D16	D16	E16	F16	G16	A16	B16
F	E16	E16	F16	G16	A16	B16	C17
Y	F16	F16	G16	A16	B16	C17	D17
V	G16	G16	A16	B16	C17	D17	E17
M	A16	A16	B16	C17	D17	E17	F17
H	B16	B16	C17	D17	E17	F17	G17
R	C17	C17	D17	E17	F17	G17	A17
K	D17	D17	E17	F17	G17	A17	B17
P	E17	E17	F17	G17	A17	B17	C18
Q	F17	F17	G17	A17	B17	C18	D18
F	G17	G17	A17	B17	C18	D18	E18
Y	A17	A17	B17	C18	D18	E18	F18
V	B17	B17	C18	D18	E18	F18	G18
M	C18	C18	D18	E18	F18	G18	A18
H	D18	D18	E18	F18	G18	A18	B18
R	E18	E18	F18	G18	A18	B18	C19
K	F18	F18	G18	A18	B18	C19	D19
P	G18	G18	A18	B18	C19	D19	E19
Q	A18	A18	B18	C19	D19	E19	F19
F	B18	B18	C19	D19	E19	F19	G19
Y	C19	C19	D19	E19	F19	G19	A19
V	D19	D19	E19	F19	G19	A19	B19
M	E19	E19	F19	G19	A19	B19	C20
H	F19	F19	G19	A19	B19	C20	D20
R	G19	G19	A19	B19	C20	D20	E20
K	A19	A19	B19	C20	D20	E20	F20
P	B19	B19	C20	D20	E20	F20	G20
Q	C20	C20	D20	E20	F20	G20	A20
F	D20	D20	E20	F20	G20	A20	B20
Y	E20	E20	F20	G20	A20	B20	C21
V	F20	F20	G20	A20	B20	C21	D21
M	G20	G20	A20	B20	C21	D21	E21
H	A20	A20	B20	C21	D21	E21	F21
R	B20	B20	C21	D21	E21	F21	G21
K	C21	C21	D21	E21	F21	G21	A21
P	D21	D21	E21	F21	G21	A21	B21
Q	E21	E21	F21	G21	A21	B21	C22
F	F21	F21	G21	A21	B21	C22	D22
Y	G21	G21	A21	B21	C22	D22	E22
V	A21	A21	B21	C22	D22	E22	F22
M	B21	B21	C22	D22	E22	F22	G22
H	C22	C22	D22	E22	F22	G22	A22
R	D22	D22	E22	F22	G22	A22	B22
K	E22	E22	F22	G22	A22	B22	C23
P	F22	F22	G22	A22	B22	C23	D23
Q	G22	G22	A22	B22	C23	D23	E23
F	A22	A22	B22	C23	D23	E23	F23
Y	B22	B22	C23	D23	E23	F23	G23
V	C23	C23	D23	E23	F23	G23	A23
M	D23	D23	E23	F23	G23	A23	B23
H	E23	E23	F23	G23	A23	B23	C24
R	F23	F23	G23	A23	B23	C24	D24
K	G23	G23	A23	B23	C24	D24	E24
P	A23	A23	B23	C24	D24	E24	F24
Q	B23	B23	C24	D24	E24	F24	G24
F	C24	C24	D24	E24	F24	G24	A24
Y	D24	D24	E24	F24	G24	A24	B24
V	E24	E24	F24	G24	A24	B24	C25
M	F24	F24	G24	A24	B24	C25	D25
H	G24	G24	A24	B24	C25	D25	E25
R	A24	A24	B24	C25	D25	E25	F25
K	B24	B24	C25	D25	E25	F25	G25
P	C25	C25	D25	E25	F25	G25	A25
Q	D25	D25	E25	F25	G25	A25	B25
F	E25	E25	F25	G25	A25	B25	C26
Y	F25	F25	G25	A25	B25	C26	D26
V	G25	G25	A25	B25	C26	D26	E26
M	A25	A25	B25	C26	D26	E26	F26
H	B25	B25	C26	D26	E26	F26	G26
R	C26	C26	D26	E26	F26	G26	A26
K	D26	D26	E26	F26	G26	A26	B26
P	E26	E26	F26	G26	A26	B26	C27
Q	F26	F26	G26	A26	B26	C27	D27
F	G26	G26	A26	B26	C27	D27	E27
Y	A26	A26	B26	C27	D27	E27	F27
V	B26	B26	C27	D27	E27	F27	G27
M	C27	C27	D27	E27	F27	G27	A27
H	D27	D27	E27	F27	G27	A27	B27
R	E27	E27	F27	G27	A27	B27	C28
K	F27	F27					



Figura 21. Pentagrama con la traducción de aminoácidos a notas.

De esta secuencia de notas se analizó la mayor prevalencia de entre todas las notas resultantes, que determina el inicio de una escala. A partir de esta escala propuesta se analizó la armonía. Finalmente, se hizo una pequeña composición donde se muestra el uso, variación, y desarrollo motivico de la secuencia de notas-aminoácidos en el formato de teclado, guitarra, bajo y batería.

En la tabla 5 se sintetiza todo el trabajo anteriormente mencionado: la traducción de notas a aminoácidos, prevalencia de notas, determinación de escala a partir de la nota con mayor prevalencia, y desarrollo armónico. Esta tabla se utilizará para las tres composiciones.

Tabla 5. Análisis melódico-armónico de la traducción de aminoácidos a notas musicales.

TRADUCCIÓN DE AMINOÁCIDOS A NOTAS	
SECUENCIA A.A.	S L L G L C L I L Q I A T G K F L A M H Y T A
ESCALA C MAYOR	E3 B3 B3 C3 B3 F3 B3 C4 B3 A4 C4 D3 G3 C3 G4 F5 B3 D3 F4 E5 G5 G3 D3
PREVALENCIA DE NOTAS, DETERMINAR ESCALA Y DESARROLLO ARMÓNICO	
Prevalencia:	Escala:
• C=4	
• D=3	
• E=2	
• F=3	
• G=4	
• A=1	
• B=6	
La escala parte desde B en orden ascendente.	Desarrollo armónico:
	• Bdim7
	• Cmaj7
	• Dm7
	• Em7
	• Fmaj7
	• G7
	• Am7

A continuación, se mostrará la composición-ejemplo basado en la proteína Citocromo b de *Pseudacris regilla* (figura 22).

Score

Secuencia Aa. 20 - 42 (Interv. diatónicos)

The score consists of four staves: Electric Guitar, Piano, Electric Bass, and Drum Set. The Electric Bass staff has a red oval highlighting a sequence of notes: G2, A2, B2, C3, D3, E3, F3, G3, A3, B3, C4, D4, E4, F4, G4, A4, B4, C5, D5, E5, F5, G5, A5, B5, C6, D6, E6, F6, G6, A6, B6, C7, D7, E7, F7, G7, A7, B7, C8, D8, E8, F8, G8, A8, B8, C9, D9, E9, F9, G9, A9, B9, C10, D10, E10, F10, G10, A10, B10, C11, D11, E11, F11, G11, A11, B11, C12, D12, E12, F12, G12, A12, B12, C13, D13, E13, F13, G13, A13, B13, C14, D14, E14, F14, G14, A14, B14, C15, D15, E15, F15, G15, A15, B15, C16, D16, E16, F16, G16, A16, B16, C17, D17, E17, F17, G17, A17, B17, C18, D18, E18, F18, G18, A18, B18, C19, D19, E19, F19, G19, A19, B19, C20, D20, E20, F20, G20, A20, B20, C21, D21, E21, F21, G21, A21, B21, C22, D22, E22, F22, G22, A22, B22, C23, D23, E23, F23, G23, A23, B23, C24, D24, E24, F24, G24, A24, B24, C25, D25, E25, F25, G25, A25, B25, C26, D26, E26, F26, G26, A26, B26, C27, D27, E27, F27, G27, A27, B27, C28, D28, E28, F28, G28, A28, B28, C29, D29, E29, F29, G29, A29, B29, C30, D30, E30, F30, G30, A30, B30, C31, D31, E31, F31, G31, A31, B31, C32, D32, E32, F32, G32, A32, B32, C33, D33, E33, F33, G33, A33, B33, C34, D34, E34, F34, G34, A34, B34, C35, D35, E35, F35, G35, A35, B35, C36, D36, E36, F36, G36, A36, B36, C37, D37, E37, F37, G37, A37, B37, C38, D38, E38, F38, G38, A38, B38, C39, D39, E39, F39, G39, A39, B39, C40, D40, E40, F40, G40, A40, B40, C41, D41, E41, F41, G41, A41, B41, C42, D42, E42, F42, G42, A42, B42, C43, D43, E43, F43, G43, A43, B43, C44, D44, E44, F44, G44, A44, B44, C45, D45, E45, F45, G45, A45, B45, C46, D46, E46, F46, G46, A46, B46, C47, D47, E47, F47, G47, A47, B47, C48, D48, E48, F48, G48, A48, B48, C49, D49, E49, F49, G49, A49, B49, C50, D50, E50, F50, G50, A50, B50, C51, D51, E51, F51, G51, A51, B51, C52, D52, E52, F52, G52, A52, B52, C53, D53, E53, F53, G53, A53, B53, C54, D54, E54, F54, G54, A54, B54, C55, D55, E55, F55, G55, A55, B55, C56, D56, E56, F56, G56, A56, B56, C57, D57, E57, F57, G57, A57, B57, C58, D58, E58, F58, G58, A58, B58, C59, D59, E59, F59, G59, A59, B59, C60, D60, E60, F60, G60, A60, B60, C61, D61, E61, F61, G61, A61, B61, C62, D62, E62, F62, G62, A62, B62, C63, D63, E63, F63, G63, A63, B63, C64, D64, E64, F64, G64, A64, B64, C65, D65, E65, F65, G65, A65, B65, C66, D66, E66, F66, G66, A66, B66, C67, D67, E67, F67, G67, A67, B67, C68, D68, E68, F68, G68, A68, B68, C69, D69, E69, F69, G69, A69, B69, C70, D70, E70, F70, G70, A70, B70, C71, D71, E71, F71, G71, A71, B71, C72, D72, E72, F72, G72, A72, B72, C73, D73, E73, F73, G73, A73, B73, C74, D74, E74, F74, G74, A74, B74, C75, D75, E75, F75, G75, A75, B75, C76, D76, E76, F76, G76, A76, B76, C77, D77, E77, F77, G77, A77, B77, C78, D78, E78, F78, G78, A78, B78, C79, D79, E79, F79, G79, A79, B79, C80, D80, E80, F80, G80, A80, B80, C81, D81, E81, F81, G81, A81, B81, C82, D82, E82, F82, G82, A82, B82, C83, D83, E83, F83, G83, A83, B83, C84, D84, E84, F84, G84, A84, B84, C85, D85, E85, F85, G85, A85, B85, C86, D86, E86, F86, G86, A86, B86, C87, D87, E87, F87, G87, A87, B87, C88, D88, E88, F88, G88, A88, B88, C89, D89, E89, F89, G89, A89, B89, C90, D90, E90, F90, G90, A90, B90, C91, D91, E91, F91, G91, A91, B91, C92, D92, E92, F92, G92, A92, B92, C93, D93, E93, F93, G93, A93, B93, C94, D94, E94, F94, G94, A94, B94, C95, D95, E95, F95, G95, A95, B95, C96, D96, E96, F96, G96, A96, B96, C97, D97, E97, F97, G97, A97, B97, C98, D98, E98, F98, G98, A98, B98, C99, D99, E99, F99, G99, A99, B99, C100, D100, E100, F100, G100, A100, B100, C101, D101, E101, F101, G101, A101, B101, C102, D102, E102, F102, G102, A102, B102, C103, D103, E103, F103, G103, A103, B103, C104, D104, E104, F104, G104, A104, B104, C105, D105, E105, F105, G105, A105, B105, C106, D106, E106, F106, G106, A106, B106, C107, D107, E107, F107, G107, A107, B107, C108, D108, E108, F108, G108, A108, B108, C109, D109, E109, F109, G109, A109, B109, C110, D110, E110, F110, G110, A110, B110, C111, D111, E111, F111, G111, A111, B111, C112, D112, E112, F112, G112, A112, B112, C113, D113, E113, F113, G113, A113, B113, C114, D114, E114, F114, G114, A114, B114, C115, D115, E115, F115, G115, A115, B115, C116, D116, E116, F116, G116, A116, B116, C117, D117, E117, F117, G117, A117, B117, C118, D118, E118, F118, G118, A118, B118, C119, D119, E119, F119, G119, A119, B119, C120, D120, E120, F120, G120, A120, B120, C121, D121, E121, F121, G121, A121, B121, C122, D122, E122, F122, G122, A122, B122, C123, D123, E123, F123, G123, A123, B123, C124, D124, E124, F124, G124, A124, B124, C125, D125, E125, F125, G125, A125, B125, C126, D126, E126, F126, G126, A126, B126, C127, D127, E127, F127, G127, A127, B127, C128, D128, E128, F128, G128, A128, B128, C129, D129, E129, F129, G129, A129, B129, C130, D130, E130, F130, G130, A130, B130, C131, D131, E131, F131, G131, A131, B131, C132, D132, E132, F132, G132, A132, B132, C133, D133, E133, F133, G133, A133, B133, C134, D134, E134, F134, G134, A134, B134, C135, D135, E135, F135, G135, A135, B135, C136, D136, E136, F136, G136, A136, B136, C137, D137, E137, F137, G137, A137, B137, C138, D138, E138, F138, G138, A138, B138, C139, D139, E139, F139, G139, A139, B139, C140, D140, E140, F140, G140, A140, B140, C141, D141, E141, F141, G141, A141, B141, C142, D142, E142, F142, G142, A142, B142, C143, D143, E143, F143, G143, A143, B143, C144, D144, E144, F144, G144, A144, B144, C145, D145, E145, F145, G145, A145, B145, C146, D146, E146, F146, G146, A146, B146, C147, D147, E147, F147, G147, A147, B147, C148, D148, E148, F148, G148, A148, B148, C149, D149, E149, F149, G149, A149, B149, C150, D150, E150, F150, G150, A150, B150, C151, D151, E151, F151, G151, A151, B151, C152, D152, E152, F152, G152, A152, B152, C153, D153, E153, F153, G153, A153, B153, C154, D154, E154, F154, G154, A154, B154, C155, D155, E155, F155, G155, A155, B155, C156, D156, E156, F156, G156, A156, B156, C157, D157, E157, F157, G157, A157, B157, C158, D158, E158, F158, G158, A158, B158, C159, D159, E159, F159, G159, A159, B159, C160, D160, E160, F160, G160, A160, B160, C161, D161, E161, F161, G161, A161, B161, C162, D162, E162, F162, G162, A162, B162, C163, D163, E163, F163, G163, A163, B163, C164, D164, E164, F164, G164, A164, B164, C165, D165, E165, F165, G165, A165, B165, C166, D166, E166, F166, G166, A166, B166, C167, D167, E167, F167, G167, A167, B167, C168, D168, E168, F168, G168, A168, B168, C169, D169, E169, F169, G169, A169, B169, C170, D170, E170, F170, G170, A170, B170, C171, D171, E171, F171, G171, A171, B171, C172, D172, E172, F172, G172, A172, B172, C173, D173, E173, F173, G173, A173, B173, C174, D174, E174, F174, G174, A174, B174, C175, D175, E175, F175, G175, A175, B175, C176, D176, E176, F176, G176, A176, B176, C177, D177, E177, F177, G177, A177, B177, C178, D178, E178, F178, G178, A178, B178, C179, D179, E179, F179, G179, A179, B179, C180, D180, E180, F180, G180, A180, B180, C181, D181, E181, F181, G181, A181, B181, C182, D182, E182, F182, G182, A182, B182, C183, D183, E183, F183, G183, A183, B183, C184, D184, E184, F184, G184, A184, B184, C185, D185, E185, F185, G185, A185, B185, C186, D186, E186, F186, G186, A186, B186, C187, D187, E187, F187, G187, A187, B187, C188, D188, E188, F188, G188, A188, B188, C189, D189, E189, F189, G189, A189, B189, C190, D190, E190, F190, G190, A190, B190, C191, D191, E191, F191, G191, A191, B191, C192, D192, E192, F192, G192, A192, B192, C193, D193, E193, F193, G193, A193, B193, C194, D194, E194, F194, G194, A194, B194, C195, D195, E195, F195, G195, A195, B195, C196, D196, E196, F196, G196, A196, B196, C197, D197, E197, F197, G197, A197, B197, C198, D198, E198, F198, G198, A198, B198, C199, D199, E199, F199, G199, A199, B199, C200, D200, E200, F200, G200, A200, B200, C201, D201, E201, F201, G201, A201, B201, C202, D202, E202, F202, G202, A202, B202, C203, D203, E203, F203, G203, A203, B203, C204, D204, E204, F204, G204, A204, B204, C205, D205, E205, F205, G205, A205, B205, C206, D206, E206, F206, G206, A206, B206, C207, D207, E207, F207, G207, A207, B207, C208, D208, E208, F208, G208, A208, B208, C209, D209, E209, F209, G209, A209, B209, C210, D210, E210, F210, G210, A210, B210, C211, D211, E211, F211, G211, A211, B211, C212, D212, E212, F212, G212, A212, B212, C213, D213, E213, F213, G213, A213, B213, C214, D214, E214, F214, G214, A214, B214, C215, D215, E215, F215, G215, A215, B215, C216, D216, E216, F216, G216, A216, B216, C217, D217, E217, F217, G217, A217, B217, C218, D218, E218, F218, G218, A218, B218, C219, D219, E219, F219, G219, A219, B219, C220, D220, E220, F220, G220, A220, B220, C221, D221, E221, F221, G221, A221, B221, C222, D222, E222, F222, G222, A222, B222, C223, D223, E223, F223, G223, A223, B223, C224, D224, E224, F224, G224, A224, B224, C225, D225, E225, F225, G225, A225, B225, C226, D226, E226, F226, G226, A226, B226, C227, D227, E227, F227, G227, A227, B227, C228, D228, E228, F228, G228, A228, B228, C229, D229, E229, F229, G229, A229, B229, C230, D230, E230, F230, G230, A230, B230, C231, D231, E231, F231, G231, A231, B231, C232, D232, E232, F232, G232, A232, B232, C233, D233, E233, F233, G233, A233, B233, C234, D234, E234, F234, G234, A234, B234, C235, D235, E235, F235, G235, A235, B235, C236, D236, E236, F236, G236, A236, B236, C237, D237, E237, F237, G237, A237, B237, C238, D238, E238, F238, G238, A238, B238, C239, D239, E239, F239, G239, A239, B239, C240, D240, E240, F240, G240, A240, B240, C241, D241, E241, F241, G241, A241, B241, C242, D242, E242, F242, G242, A242, B242, C243, D243, E243, F243, G243, A243, B243, C244, D244, E244, F244, G244, A244, B244, C245, D245, E245, F245, G245, A245, B245, C246, D246, E246, F246, G246, A246, B246, C247, D247, E247, F247, G247, A247, B247, C248, D248, E248, F248, G248, A248, B248, C249, D249, E249, F249, G249, A249, B249, C250, D250, E250, F250, G250, A250, B250, C251, D251, E251, F251, G251, A251, B251, C252, D252, E252, F252, G252, A252, B252, C253, D253, E253, F253, G253, A253, B253, C254, D254, E254, F254, G254, A254, B254, C255, D255, E255, F255, G255, A255, B255, C256, D256, E256, F256, G256, A256, B256, C257, D257, E257, F257, G257, A257, B257, C258, D258, E258, F258, G258, A258, B258, C259, D259, E259, F259, G259, A259, B259, C260, D260, E260, F260, G260, A260, B260, C261, D261, E261, F261, G261, A261, B261, C262, D262, E262, F262, G262, A262, B262, C263, D263, E263, F263, G263, A263, B263, C264, D264, E264, F264, G264, A264, B264, C265, D265, E265, F265, G265, A265, B265, C266, D266, E266, F266, G266, A266, B266, C267, D267, E267, F267, G267, A267, B267, C268, D268, E268, F268, G268, A268, B268, C269, D269, E269, F269, G269, A269, B269, C270, D270, E270, F270, G270, A270, B270, C271, D271, E271, F271, G271, A271, B271, C272, D272, E272, F272, G272, A272, B272, C273, D273, E273, F273, G273, A273, B273, C274, D274, E274, F274, G274, A274, B274, C275, D275, E275, F275, G275, A275, B275, C276, D276, E276, F276, G276, A276, B276, C277, D277, E277, F277, G277, A277, B277, C278, D278, E278, F278, G278, A278, B278, C279, D279, E279, F279, G279, A279, B279, C280, D280, E280, F280, G280, A280, B280, C281, D281, E281, F281, G281, A281, B281, C282, D282, E282, F282, G282, A282, B282, C283, D283, E283, F283, G283, A283, B283, C284, D284, E284, F284, G284, A284, B284, C285, D285, E285, F285, G285, A285, B285, C286, D286, E286, F286, G286, A286, B286, C287, D287, E287, F287, G287, A287, B287, C288, D288, E288, F288, G288, A288, B288, C289, D289, E289, F289, G289, A289, B289, C290, D290, E290, F290, G290, A290, B290, C291, D291, E291, F291, G291, A291, B291, C292, D292, E292, F292, G292, A292, B292, C293, D293, E293, F293, G293, A293, B293, C294, D294, E294, F294, G294, A294, B294, C295, D295, E295, F295, G295, A295, B295, C296, D296, E296, F296, G296, A296, B296, C297, D297, E297, F297, G297, A297, B297, C298, D298, E298, F298, G298, A298, B298, C299, D299, E299, F299, G299, A299, B299, C300, D300, E300, F300, G300, A300, B300, C301, D301, E301, F301, G301, A301, B301, C302, D302, E302, F302, G302, A302, B302, C303, D303, E303, F303, G303, A303, B303, C304, D304, E304, F304, G304, A304, B304, C305, D305, E305, F305, G305, A305, B305, C306, D306, E306, F306, G306, A306, B306, C307, D307, E307, F307, G307, A307, B307, C308, D308, E308, F308, G308, A308, B308, C309, D309, E309, F309, G309, A309, B309, C310, D310, E310, F310, G310, A310, B310, C311, D311, E311, F311, G311, A311, B311, C312, D312, E312, F312, G312, A312, B312, C313, D313, E313, F313, G313, A313, B313, C314, D314, E314, F314, G314, A314, B314, C315, D315, E315, F315, G315, A315, B315, C316, D316, E316, F316, G316, A316, B316, C317, D317, E317, F317, G317, A317, B317, C318, D318, E318, F318, G318, A318, B318, C319, D319, E319, F319, G319, A319, B319, C320, D320, E320, F320, G320, A320, B320, C321, D321, E321, F321, G321, A321, B321, C322, D322, E322, F322, G322, A322, B322, C323, D323, E323, F323, G323, A323, B323, C324, D324, E324, F324, G324, A324, B324, C325, D325, E325, F325, G325, A325, B325, C326, D326, E326, F326, G326, A326, B326, C327, D327, E327, F327, G327, A327, B327, C328, D328, E328, F328, G328, A328, B328, C329, D329, E329, F329, G329, A329, B329, C330, D330, E330, F330, G330, A330, B330, C331, D331, E331, F331, G331, A331, B331, C332, D332, E332, F332, G332, A332, B332, C333, D333, E333, F333, G333, A333, B333, C334, D334, E334, F334, G334, A334, B334, C335, D335, E335, F335, G335, A335, B335, C336, D336, E336, F336, G336, A336, B336, C337, D337, E337, F337, G337, A337, B337, C338, D338, E338, F338, G338, A338, B338, C339, D339, E339, F339, G339, A339, B339, C340, D340, E340, F340, G340, A340, B340, C341, D341, E341, F341, G341, A341, B341, C342, D342, E342, F342, G342, A342, B342, C343, D343, E343, F343, G343, A343, B343, C344, D344, E344, F344, G344, A344, B344, C345, D345, E345, F345, G345, A345, B345, C346, D346, E346, F346, G346, A346, B346, C347, D347, E347, F347, G347, A347, B347, C348, D348, E348, F348, G348, A348, B348, C349, D349, E349, F349, G349, A349, B349, C350, D350, E350, F350, G350, A350, B350, C351, D351, E351, F351, G351, A351, B351, C352, D352, E352, F352, G352, A352, B352, C353, D353, E353, F353, G353, A353, B353, C354, D354, E354, F354, G354, A354, B354, C355, D355, E355, F355, G355, A355, B355, C356, D356, E356, F356, G356, A356, B356, C357, D357, E357, F357, G357, A357, B357, C358, D358, E358, F358, G358, A358, B358, C359, D359, E359, F359, G359, A359, B359, C360, D360, E360, F360, G360, A360, B360, C361, D361, E361, F361, G361, A361, B361, C362, D362, E362, F362, G362, A362, B362, C363, D363, E363, F363, G363, A363, B363, C364, D364, E364, F364, G364, A364, B364, C365, D365, E365, F365, G365, A365, B365, C366, D366, E366, F366, G366, A366, B366, C367, D367, E367, F367, G367, A367, B367, C368, D368, E368, F368, G368, A368, B368, C369, D369, E369, F369, G369, A369,

3.3. Descripción y desarrollo del portafolio de tres composiciones inéditas.

3.3.1. El anciano eco de la creación – Santiago A. Noriega Velasteguí (ADN Polimerasa de *Thermococcus barophilus*).

Sinopsis:

Como se explicó anteriormente, esta proteína se encuentra en todo ser vivo sirviendo de replicador del código genético para que pueda ser transmitido a las siguientes generaciones. El organismo se eligió como representante de esta proteína es una cianobacteria, un organismo muy antiguo que sobrevive en los lugares más extremos del planeta. Es por estas razones que se ha escogido como representante de un inicio, un tipo de “génesis” musical. En la parte de esquema estructural la forma de la obra es AB, con *intro*, *solí*, sección de solos para guitarra y teclado, y un *outro*. Así mismo, se creó las melodías de las partes A y B a partir de la escala deducida; la melodía resultante de la traducción de aminoácidos a notas se la usó como un solo obligado para la guitarra. Finalmente, el estilo interpretativo es rock progresivo.

Esquema estructural:

- Tempo: 145 bpm y 160 bpm.
- Métrica: 4/4, 3/4, 5/4.
- Forma:
 - Intro: 20 compases.
 - A: 9 compases.
 - B: 9 compases.
 - Puente 1: 8 compases.
 - C (*Solí*): 10 compases.
 - A: 9 compases.
 - Solos: 8 compases (solo guitarra), 9 compases (solo teclado).
 - Puente 2 (como intro): 8 compases.

- B: 8 compases.
- Outro: 8 compases.
- Estilo: Rock progresivo

Recursos desarrollados:

- Traducción de aminoácidos a notas con escala cromática:



Figure 23. Traducción de aminoácidos a notas, con escala cromática, de ADN polimerasa de *Thermococcus barophilus*.

- Desarrollo en la obra:

A musical score for a section titled 'Soli'. It features three staves: Pad, E.B. (Electric Bass), and D.S. (Drum Set). The Pad part consists of sustained chords. The E.B. part is circled in red and shows a chromatic scale. The D.S. part consists of a rhythmic pattern of slashes. The score is marked with '48' at the beginning of each staff.

Figure 24. Uso de la traducción de la secuencia como solo obligado en la composición, sección *Soli*.

3.3.2. El Empedrado – Santiago A. Noriega Velasteguí (Fotosistema I de *Polylepis reticulata*).

Sinopsis:

Este tipo de proteína participa en la absorción de energía luminosa, convirtiéndola en energía química (el alimento de la planta). Esta proteína es encargada de la fotosíntesis en plantas. Es uno de los sistemas más antiguos de producción de alimento a partir de la transformación de la energía solar. Al encontrarse en plantas, se hace referencia a un organismo que ha estado presente por millones de años, incluso antes que los primeros animales terrestres; estos organismos siempre están creciendo y desarrollándose. La planta elegida es el árbol de papel (*Polylepis reticulata*), una especie autóctona de la sierra ecuatoriana. Es así como se desarrolla una obra que contiene un carácter de crecimiento e identidad ecuatoriana. Por esta razón en esta obra se hace una fusión entre rock progresivo y un género nacional, el yumbo. En la parte de esquema estructural la forma de la obra es *Intro*, ABC, puente (clímax), B y *Outro*. Así mismo, se creó las melodías de las partes A, B y C a partir de la escala deducida, y de un tratamiento melódico a la secuencia traducida.

Esquema estructural:

- Tempo: 120
- Métrica: 6/8.
- Forma:
 - Intro: 24 compases.
 - A: 8 compases.
 - B: 16 compases.
 - C: 24 compases.
 - Puente (clímax): 8 compases.
 - B: 8 compases.
 - Outro: 8 compases.
- Estilo: Yumbo fusionado con rock progresivo.

Recursos desarrollados:

- Secuencia - melodía:

5

V F S A H F G Q L S I I F L W L S G M Y F

Figura 25. Traducción de aminoácidos a notas, con escala ecuatoriana, de Fotosistema I de *Polylepis reticulata* (encerrados en colores rojo y verde muestran las secciones para un tratamiento de desarrollo melódico en la obra).

- Desarrollo en la obra:

B

Pno. *mf*

Ac. Gtr. *mf*

Bass *mf*

D. S. *mf*

Figura 26. Uso y desarrollo melódico de una sección de la secuencia original, encerrado en rojo.

D

Pno. *mf*

Ac. Gtr. *mf*

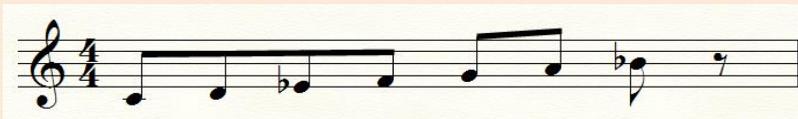
Bass *mf*

D. S. *mf*

Figura 27. Uso y desarrollo melódico de una sección de la secuencia original, encerrado en verde.

- Tabla analítica:

Tabla 6. Análisis melódico-armónico de la traducción de aminoácidos a notas musicales de Fotosistema I de *Polylepis reticulata*.

TRADUCCIÓN DE AMINOÁCIDOS A NOTAS	
SECUENCIA A.A.	V F S A H F G Q L S I I F L W L S G M Y F
ESCALA ECUATORIANA	G2 C4 Eb2 D2 Bb3 C4 C2 F3 A2 Eb2 Bb2 Bb2 C4 A2 Eb4 A2 Eb2 C2 D3 D4 C4
PREVALENCIA DE NOTAS, DETERMINAR ESCALA Y DESARROLLO ARMÓNICO	
<ul style="list-style-type: none"> • Prevalencia: • G = 1 • C = 6 • Eb = 4 • D = 3 • Bb = 3 • F = 1 • A = 3 • La escala parte desde C en orden ascendente. 	<p>Escala:</p>  <p>Desarrollo armónico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cm7 • Dm7 • Ebmaj7 • F7 • Gm7 • Am7(b5) • Bbmaj7

3.3.3. Última Rayuela – Santiago A. Noriega Velasteguí (Activador de apoptosis harakiri de *Homo sapiens*).

Sinopsis:

Esta proteína de tipo activador de apoptosis (muerte celular programada) se expresa en el momento final de una célula. Cuando ha sufrido un daño irreparable, desencadena una cascada de señales que conducen a un suicidio celular. Es en esta proteína donde se ve reflejada el final de todo ser vivo, no como suicidio, pero como última etapa a la muerte. El organismo elegido es *Homo sapiens*, como representante de los seres vivos que evolutivamente son nuevos. Estos dos conceptos se combinan para mostrar un final, tanto del ciclo de la vida como evolutivo (no definitivo, por supuesto). Es así que, en este

punto, se recurrirá al uso de técnicas interpretativas y compositivas para sonorizar un último acto antes de la muerte.

Esquema estructural:

- Tempo: 75 bpm.
- Métrica: 4/4.
- Forma:
 - Intro: 4 compases.
 - A: 4 compases.
 - A': 4 compases.
 - Puente 1 compás.
 - B: 8 compases.
 - B': 4 compases.
 - C: 4 compases.
 - A' 4 compases.
 - A: 4 compases.
 - A'': 4 compases.
- Estilo: Rock progresivo

Recursos desarrollados:

- Traducción de aminoácidos a notas con escala simétrica 1 tono – ½ tono:



Figure 28. Traducción de aminoácidos a notas, con escala simétrica 1 tono – ½ tono, apoptosis harakiri de *Homo sapiens* (encerrados en colores rojo y verde muestran las secciones para un tratamiento de desarrollo melódico en la obra).

- Desarrollo en la obra:

Figure 29 shows a musical score with four staves: Pno., Ac. Gtr., E.B., and D. S. The piano part features chords Bm, F, F, and Dm. The acoustic guitar part is marked *dolce* and contains three melodic phrases circled in red, green, and blue. The electric bass and double bass parts are shown below.

Figura 29. Uso y desarrollo melódico de una sección de la secuencia original, encerrado en rojo, verde y azul.

Figure 30 shows a musical score with three staves: Pno., Ac. Gtr., and D. S. The piano part has a *mf* marking and a melodic phrase enclosed in a purple box. The acoustic guitar part also has a *mf* marking and a melodic phrase enclosed in a purple box. The double bass part is shown below.

Figura 30. Uso y desarrollo melódico de toda la secuencia original, encerrado en púrpura.

- Tabla analítica:

Tabla 7. Análisis melódico-armónico de la traducción de aminoácidos a notas musicales de Apoptosis Harakiri de *Homo sapiens*.

TRADUCCIÓN DE AMINOÁCIDOS A NOTAS	
SECUENCIA A.A.	T A A R L K A L G D E L H Q R
ESCALA SIMÉTRICA 1 TONO – ½ TONO	Gb D D B A F D A C D Ab A C Gb B
PREVALENCIA DE NOTAS, DETERMINAR ESCALA Y DESARROLLO ARMÓNICO	
Prevalencia:	Escala:
1. Gb = 2	
2. D = 4	
3. B = 2	
4. A = 3	
5. Ab = 1	
6. F = 1	
7. C = 2	
La escala parte desde C en orden ascendente.	Desarrollo armónico:
	<ul style="list-style-type: none"> • Ddim – Ddim7 • Dm – Dm7 • D7(b5) • D – D7 • Fm • F • Ab7 • F#dim • Bdim • Bm

Conclusiones.

Se logró establecer una técnica compositiva que ha sido desarrollada en base al análisis estructural de las proteínas. Inicialmente, se recopiló bibliografía que trate conceptos biológicos artísticos y compositivos, y los relacione con procesos de secuenciación y ensamblaje de proteínas; se analizó a diferentes artistas e investigadores pertenecientes a la propuesta del *bioarte*. Posteriormente, se analizan determinadas estructuras proteicas, resultando en diversas posibilidades melódicas y armónicas. Se usan como base conceptos musicales y físico-químicos, como las distancias interválicas para obtener una serie de notas, y el comportamiento vibratorio de las partículas. Finalmente, el resultado de todo este proceso es la creación de un portafolio de tres

composiciones para el formato de guitarra, teclado, bajo y batería. Cada una de las tres obras proviene de una proteína distinta: el ADN polimerasa de *Thermococcus barophilus*, el Fotosistema I de *Polylepis reticulata*, y un activador de apoptosis harakiri de *Homo sapiens*.

Al ser un proceso creativo que utiliza recursos musicales y biológicos, se investigó acerca del tipo de propuesta artística que acoge este procedimiento. Se encontró que esta técnica pertenece al *bioarte*, dentro del cual existen diversas mociones musicales que también se basan en proteínas, pero son desenvueltas desde diferentes aspectos físicos y químicos. Es así que dentro del conglomerado de investigadores y *bioartistas* se estudió a la bióloga Marie Anne Clark, y al músico Warren Burt, ya que ellos usan métodos numéricos fundamentados en ordenar a los aminoácidos a partir de su grado de solubilidad en agua (en el caso de Clark), y en el índice de prevalencia dentro de una secuencia de aminoácidos (en el caso de Burt).

El uso de métodos numéricos fue fundamental para el desarrollo de la presente técnica, ya que se determinó un orden específico para los aminoácidos, basándose en la relación entre el peso molecular y la frecuencia vibratoria de cada aminoácido; a menor masa su frecuencia es menor, y si se incrementa el peso molecular la frecuencia irá incrementando. El resultado es la relación creada entre aminoácidos y notas mediante sus frecuencias, por lo que se creó tablas de equivalencia entre aminoácidos y diferentes escalas. Estas tablas ordenan de manera ascendente a los aminoácidos, y los relaciona con diferentes escalas ordenadas de igual manera. Usando las tablas mencionadas se pudo traducir cualquier serie de aminoácidos a una serie melódica, la cual es analizada para desarrollar el tipo de escala resultante y así encontrar su carácter armónico. Esta nueva escala parte de un conteo estadístico simple, el cual determina que nota tiene mayor prevalencia en la serie formada; a partir de esta nota se ordenan el resto de nota como una escala convencional.

Finalmente, se creó tres composiciones que resumen el análisis armónico y melódico de las secuencias de las proteínas seleccionadas. En cada composición se usan la armonía resultante del análisis mencionado

anteriormente y la serie resultante de la traducción, ya sea como fuente de motivos melódicos o como líneas obligadas. Debido a esta traducción biológico-musical, el conjunto resultante es una serie, por lo que se usan recursos del movimiento serialista en el momento de componer (retrogradación, inversión, inversión-retrogradación, retrogradación-inversión). El formato instrumental usado consta de cuatro instrumentos: teclado, guitarra, bajo, y batería; esto asemeja a las cuatro bases nitrogenadas del ADN, las cuales son el alfabeto para crear proteínas, así como los instrumentos crean los sonidos. Así mismo, el género que se basan las composiciones es el rock progresivo, el cual ha sido fusionado con el yumbo, en el caso de la segunda composición. El resultado son tres obras que tienen impresas, donde cada una posee una identidad estética y biológica.

Recomendaciones.

El impulso creativo no está supeditado solamente al campo del arte. En todas las disciplinas y profesiones se pueden encontrar caminos que plasmen un sentido estético a cualquier actividad. En el caso de las ciencias exactas, un físico se maravilla de la total autoridad de la gravedad sobre todas las cosas; un químico se siente fascinado por los intrincados mecanismos biológicos que mantienen con vida a diferentes seres; un astrónomo encuentra el sentido de humildad al indagar en el cosmos. Así un músico, que tuvo un contacto previo con la biotecnología, se entusiasma al escuchar el jugueteo de todas las leyes físicas y químicas durante sus prácticas universitarias.

Así surge el cuestionamiento de encontrar un modo de dar una identidad musical a moléculas, específicamente a las proteínas. El resultado de esta curiosidad es la presente tesis, de la cual surgen varias recomendaciones. Primero, al momento de plantearse un nuevo proceso compositivo se debe tomar en cuenta diversas disciplinas, tales como la química, la biología, la física y la música. Estas están en constante interacción, y se lo puede observar al momento de hacer música. Al interpretar un instrumento se genera energía que

viaja a través de ondas por el aire. Las ondas son percibidas por el oído de algún individuo, lo que genera una respuesta química en el cerebro, desencadenando múltiples mecanismos de reacción. Esta reacción bioquímica termina en el movimiento rítmico del cuerpo, o en la acción de acompañar con otro instrumento. Todo está en constante interacción.

La segunda recomendación recae en la organización. Se debe establecer un plan de acción que nos ayude a despejar un sendero en medio de la cantidad apabullante de información. El primer paso es establecer un punto de origen; en el caso de esta investigación se comenzó en buscar una característica general entre una secuencia de aminoácidos con una melodía: ambas son un conjunto de elementos distribuidos de forma serial. Luego se definió un lineamiento específico que logre ordenar tanto a lo biológico con lo musical: el resultado, dar una equivalencia de aminoácidos a notas. Para fundamentar esta equivalencia se indagó en el comportamiento físico del sonido y de las partículas, reflejado en la vibración; característica física que comparten las notas y los aminoácidos. Así se logró acomodar a los aminoácidos de manera que estén relacionados de forma ordenada con las notas.

En tercer lugar, al ya tener un cimiento fuerte se deben crear reglas sobre cómo interpretar esta nueva información. Este punto surgió debido a que las obras de los *bioartistas* expuestos en este trabajo suenan sin un tratamiento musical más profundo. Los pasos de la técnica propuesta ayudan a crear diferentes herramientas compositivas como escalas nuevas, y diferentes combinaciones de acordes. De igual manera, se indagó en el movimiento serialista, ya que este delinea un tratamiento concreto sobre cualquier serie musical. Al tener una serie de notas, producto de las equivalencias mencionada anteriormente, se añaden más recursos compositivos como son los axiomas serialistas. Con todas estas herramientas, producto del análisis de la serie creada, se da paso al uso para la creación musical.

Como último consejo, se debe dejar rienda suelta a la imaginación e intuición. Al momento de *hechar machete* (abrirse camino) en medio de la selva de información, es fácil caer en sistematizar cuanto paso uno de. El aspecto

importante de un músico es su capacidad creativa, la cual se basa en la percepción instantánea de su entorno, y en como lo musicaliza. Es por eso que se dejó un aspecto musical a consideración del compositor, y es la rítmica. Si bien se pudo haber indagado más en obtener esta información de una proteína, se estaría eliminando a la intuición musical. Esta es una pieza fundamental para el arte, si no el alma de cada obra de arte.

Referencias.

- Anitori, R. P. (2012). *Extremophiles, microbiology and biotechnology*. Norfolk, UK: Horizon Scientific Press, Ed.
- Brindle, R. S. (1966). *Serial Composition*. New York, United States: Oxford University Press, Ed.
- Burt, W. (2012). *Nightshade Etudes Book 1 - a new mini-album*. Recuperado de <http://www.warrenburt.com/journal/2012/7/5/nightshade-etudes-book-1-a-new-mini-album.html>
- Centro de Análisis de Imágenes Biomédicas Computarizadas (CAIBCO). (2016). *Neurociencias*. Universidad Central de Venezuela Recuperado de <http://caibco.ucv.ve/caibco/vitae/VitaeCinco/Articulos/Neurociencias/>
- Chang, R. (1999). *Química* (Septima edición ed.). México D.F: Mc Graw-Hill Interamericana Editores, Ed.
- Clark, M. A., & Dunn, J. (1999). "Life Music": The Sonification of Proteins. *Leonardo*, 32, 25 - 32. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/1576622>
- Claros, G. (s.f.). *Estructuras supersecundarias*. Recuperado de http://www.biorom.uma.es/contenido/av_bma/apuntes/t5/t5.htm
- Cramer, P. (2006). *Dos premios Nobel para el RNA*. Recuperado de <http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/v5n3/cramer.htm>
- Daly, K. (2015). *Hubs2206 L7: Protein Structure and function*. Recuperado de <https://quizlet.com/79377413/hubs2206-l7-protein-structure-and-function-1-of-3-flash-cards/>.
- Estrella, L. (2017). *Composiciones musicales en manuscritos originales de Alfonso Aráuz e interpretaciones editadas: estudio comparativo para una definición de las manifestaciones rítmicas de la "mishquilla" en el aire típico y el albazo*. (Tesis de maestría). Universidad de Cuenca. Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27029>

- Fantova, F. (2015). *La intervención social en los servicios sociales y en otros ámbitos sectoriales*. Recuperado de <http://fantova.net/?p=949>
- Farmer, J. (25 de november de 1998). *Thermophiles, early biosphere evolution, and the origin of life on Earth: Implications for the exobiological explorations of Mars*. Journal of Geophysical Resarch: Planets, 103(E12). doi:10.1029/98JE01542
- Fernandez, G. (s.f.). *Los 20 aminoácidos que componen las proteínas*. Recuperado de : <http://www.quimicaorganica.org/aminoacidos-peptidos/527-los-20-aminoacidos-que-componen-las-proteinas.html>
- Gerritsen, V. B. (2009). *Tales From A Small World*. S. I. Swiss Institute of Bioinformatics, Ed. Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=XQNqCwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Khan Academy. (s.f.). *Introducción a las proteínas y los aminoácidos*. Recuperado de <https://es.khanacademy.org/science/biology/macromolecules/proteins-and-amino-acids/a/introduction-to-proteins-and-amino-acids>
- Levitin, D. (2011). *Tu Cerebro y la Música*. Barcelona: RBA Libros, S.A.
- Lodish, H. (2005). *Biología Celular y Molecular* (2da. Edición ed.). Bueno Aires, Argentina: Editorial Médica Panamericana.
- López, J. (2016). *Biotecnología y Arte: Entrelazamientos*. Recuperado de <http://www.biotekis.es/2016/03/10/biotecnologia-y-arte-entrelazamientos/>
- López, J. V. (2011). *Sistema de Composición Musical*. Quito, Ecuador: Idea Liebres, Ed. Dirección de publicaciones Casa de la Cultura Ecuatoriana Benjamín Carrión.
- M.L.W. (s.f.). *Las Proteínas*. Recuperado de <http://aprobarselectividad.blogspot.com/2012/05/las-proteinas.html>

- Mitchell, R. (2015). *Bioart and the Vitality of Media*. Washington, United States: University of Washington Press, Ed.
- Newman, D. J., Cragg, G. M., & Grothaus, P. (2017). *Chemical Biology of Natural Products*. CRC Press, Ed. Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=_ul2DwAAQBAJ&pg=PT599&dq=kalata+symmetry&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiE9M2knvfXAhVCSSYKHVdhDJUQ6AEIMDAD#v=onepage&q&f=true
- Quinn, P. (6-11 de julio de 2000). *Arreola, Esther y Barth: Una eterna brida rodada*. *Actas del XIII Congreso de la Asociación Internacional de Hispanistas*, 356-361, Castalia, Ed. Recuperado de https://scholar.google.es/scholar?cluster=13212171355319482351&hl=es&as_sdt=0,5
- Romero, M. D. (Mayo de 2004). *Las matemáticas en el serialimso musical*. *Sigma*, 93-98.
- Sansom, C. (December de 2002). *DNA makes protein- makes music*. *The Biochemist*, 40. Recuperado de http://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:L1WVNbegR-AJ:scholar.google.com/+ross+king+protein+music&hl=en&as_sdt=0,5
- Simpson, B. (1979). *A revision of the genus Polylepis (Rosaceae: Sanguisorbeae)*. Smithsonian Institutions Press, Ed. *Smithsonian Contributions to Botany*, 43, 62. doi:10.5479/si.0081024X.43.1
- Sternheimer, J. (2002). *United States Patente nº US 2002/01777186 A1*.
- Universidad del Oriente - Venezuela. (2008). *Formación del enlace peptídico*. Recuperado de <http://www.uruguayeduca.edu.uy/Portal.Base/Web/VerContenido.aspx?ID=200063>
- Vergés, L. (2007). *El lenguaje de la armonía de los inicios a la actualidad*. Barcelona, España: S. L. Editorial de Música Boileau, Ed.

- Villaseñor, R. (2013). *Proyectos de Biología 1*. Recuperado de <http://biol1c201.blogspot.com/2013/03/proyectos-para-el-semester-2013-a.html>
- Villee, C. A. (1988). *Biología*. Naucalpan de Juárez - México: McGraw - Hill Interamericana de México.
- Walser, H. (2000). *Symmetry*. The Mathematical Association of America Inc., Ed. Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=XdUJbuMGSbYC&pg=PA24&dq=mobius+strip+symmetry&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjNuryom_fXAhVKS CYKHfSnBpsQ6AEIjAA#v=onepage&q=mobius%20strip%20symmetry&f=false
- Wolff, C. (2001). *Johann Sebastian Bach: The Learned Musician*. New York, United States: Oxford University Press, Ed. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=ronZdkhQouMC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

ANEXOS

El anciano eco de la creación

The musical score is divided into two systems. The first system covers measures 8 to 11, and the second system covers measures 12 to 15. The vocal line (top staff) begins at measure 8 with a melody in C#m, moving to Bm at measure 9 and F#dim at measure 11. The Pad part (second system) provides harmonic support with sustained chords in the same sequence. The E.B. (Electric Bass) part (third system) features a rhythmic pattern of eighth notes with accents, starting in C#m and transitioning to Bm and F#dim. The D.S. (Drum Set) part (fourth system) provides a steady accompaniment with eighth notes and rests. The second system (measures 12-15) introduces new chords: Amaj7 at measure 12 and Caug at measure 15. The vocal line continues its melodic path, while the Pad, E.B., and D.S. parts maintain their respective parts with the new harmonic context.

16 *C[♯]m* *accel.*

16

Pad

E.B.

D.S.

20 *B* *F[♯]m7* *F[♯]m(maj7)* *A maj*
con brio

20

Pad

E.B.

D.S.

El anciano eco de la creación

24 B m7 B dim7 Dmaj7

Pad

E.B.

D.S.

28 C F#m

Pad

E.B.

D.S.

32 E7 D6 1. *p*

Pad

E.B.

D. S.

36 Dmaj7(#11) A D6 2. Bm7 **D** *ff*

Pad

E.B.

D. S.

40 G^{dim} F^{dim} F^{aug} F^{dim}

44 *mf* *dim.* **E** *mp*

Pad *p* F^{dim}

E.B. *mf* *dim.* *p*

D.S. *mf* *dim.* *p*

Musical score for measures 48-51. The score includes four staves: a vocal line, a Pad (piano) section, an E.B. (Electric Bass) section, and a D.S. (Drum Set) section. The Pad section features chords: F#m(add 9), B m 7, F#dim, and Dmaj7. The E.B. section has a consistent eighth-note pattern. The D.S. section shows a steady drum pattern.

Musical score for measures 52-55. The score includes four staves: a vocal line, a Pad (piano) section, an E.B. (Electric Bass) section, and a D.S. (Drum Set) section. The Pad section features chords: E7(9), F#7(+9) *cresc.*, *mf* F#dim, and F#m7. The E.B. section has a consistent eighth-note pattern. The D.S. section shows a steady drum pattern. Dynamics include *cresc.* and *mf*. A first ending bracket is present in the vocal line at measure 54.

El anciano eco de la creación

F $\text{♩} = 160$

56 *f* *con brio* $F^{\#}m7$ $F^{\#}m(maj7)$ $A\ maj7$

Pad *f* $F\ maj7$ G

E.B. *f*

D.S. *f*

60 $B\ m7$ $B\ dim7$ $D\ maj7$

Pad

E.B.

D.S.

64 *f* **G** F#m

Pad

E.B.

D.S.

68 E7 D6

Pad

E.B.

D.S.

72 Dmaj7(#11) A F#m F#m(add 9)

72

72

72

72

76 Bm7 F#dim Dmaj7 E7(9)

76

76

76

76

80 *F#7(9) cresc.* *Bm(add9)* *f F#maj7 G* **H** *Bm*

80 *cresc.* *f* *mf*

Pad

E.B. *cresc.* *f* *mf*

D. S. *cresc.* *mf*

84 *F#dim* *A#maj7*

84 *F#dim* *A#maj7*

Pad

E.B.

D. S.

88

Caug C#m I F#m

88

88

88

88

92

E7 D6

92

92

92

92

96 1. *p* Dmaj7(911) *f* A D6 2.

Pad

E.B.

D. S.

[J] Bm7 G#m7 F#dim F#aug

Pad

E.B.

D. S.

F#m

104

Pad

E.B.

D. S.

106

dim.

Pad

E.B.

D. S.

dim.

dim.

dim.

dim.

Anexo 2. Partituras de *El Empedrado*.

Score

El Empedrado

Polylepis reticulata - Fotosistema I

Santiago Noriega

A

The musical score is divided into two systems. The first system includes staves for Piano, Acoustic Guitar, Bass, and Drum Set. The Piano part is mostly silent, indicated by rests. The Acoustic Guitar part features a melodic line with a *p* dynamic marking. The Bass and Drum Set parts are also silent. The second system includes staves for Pno., Ac. Gtr., and D. S. (Drum Set). The Pno. part has a complex texture with a *p* dynamic and a '5' marking. The Ac. Gtr. part continues with its melodic line. The D. S. part shows a rhythmic pattern with a *p* dynamic and a '5' marking. A circled 'e' symbol is located at the bottom center of the page.

9

Pno.

Cm7 C sus C sus Cm7

Ac. Gtr.

Bass

D. S.

13

Pno.

mp Cm7 Cm(add11) C sus Cm7 B-maj7

Ac. Gtr.

mp

Bass

mp

D. S.

mp

El Empedrado

The musical score is divided into two systems, each containing four staves: Pno., Ac. Gtr., Bass, and D.S. The first system (measures 17-20) features a piano accompaniment with a melody in the right hand and bass line in the left hand. The guitar and double bass parts mirror the bass line. The piano part includes chords: C m7, C7sus, C sus, and E b. The second system (measures 21-24) shows a dynamic shift from piano (p) to forte (f). The piano part includes chords: C m, C, C sus, and f. The guitar and double bass parts also show dynamic changes and melodic variations.

System 1 (Measures 17-20):

- Pno.:** *mf* C m7, C7sus, C sus, E b
- Ac. Gtr.:** *mf*
- Bass:** *mf*
- D. S.:** *mf*

System 2 (Measures 21-24):

- Pno.:** C m, C, C sus, *f*
- Ac. Gtr.:** *p*, *f*
- Bass:** *p*, *f*
- D. S.:** *p*, *f*

B

Piano score for measures 25-28. The piano part features a complex melodic line with many accidentals and slurs. The guitar part consists of chords and some melodic fragments. The bass and double bass parts provide a steady rhythmic accompaniment. Chords are indicated as Cm7, Eb, C sus, G9, and Bbmaj7.

Piano score for measures 29-32. The piano part continues with a complex melodic line. The guitar part features a more active melodic line with slurs. The bass and double bass parts continue their accompaniment. Chords are indicated as Cm, Eb, C sus, Gm9, and Bbmaj7.

C *subito p*

Pno.

subito p

Ac. Gtr. *subito p* 33 *subito p* *subito p* *subito p* *subito p*

usar pedal para dinámicas

Bass

subito p

D. S.

37

Pno.

subito p 37 *subito p* *subito p* *subito p* *subito p*

Bass

37

D. S.

41 *mp*

Pno.

41 *mp*

Ac. Gtr.

Bass

D. S.

45 *cresc.*

Pno.

45 *cresc.*

Ac. Gtr.

Bass

45 *cresc.*

D. S.

El Empedrado

D *mf*

Pno. *mf*

Ac. Gtr. *mf*

Bass *mf*

D. S. *mf*

Chords: Cm7, D7, Fmaj7, Bb, D7(+13)sus

mf

Pno. *mf*

Ac. Gtr. *mf*

Bass *mf*

D. S. *mf*

Chords: Cm7, D7, Fmaj7, Bb, D7(+13)sus

El Empedrado

57

Pno. Cm7 D7 Fmaj7 Bb D7(+13)sus

Ac.Gtr.

Bass

D. S.

61

Pno. Cm7 D7 Fmaj7 Bb D7(+13)sus

Ac.Gtr.

Bass

D. S.

65

Pno. Cm7 D7 Fmaj7 Gm D7(+13)sus

Ac. Gtr.

Bass

D. S.

69

Pno. Cm7 D7 Fmaj7 Gm D7(+13)sus

Ac. Gtr.

Bass

D. S.

E

Pno. *f* Cm Eb C sus G9 B^bmaj7

Ac. Gtr. *f*

Bass *f*

D. S. 73

Pno. Cm Eb C sus G9 B^bmaj7

Ac. Gtr. *f*

Bass *f*

D. S. 77

F

Pno. Cm Eb C sus G9 Bbmaj7

Ac. Gtr. 81

Bass

D. S. 81

Pno. Cm Eb C sus G9 Bbmaj7

Ac. Gtr. 85

Bass

D. S. 85

89

Pno. Cm7 C7sus Csus Eb

Ac. Gtr.

Bass

D. S.

93

Pno. Cm C Csus

Ac. Gtr.

Bass

D. S.

Anexo 3. Partituras de Última Rayuela.

Score

Última Rayuela

Santiago A. Noriega

Activador de apoptosis Harakiri (Homo sapiens)

espress.
p Bm F F Dm

Piano

Acoustic Guitar

Electric Bass

Drum Set

5 Bm F F Dm

Pno.

Ac.Gtr.

E.B.

D. S.

9 *mp* Bm F F Dm

Pno.

Ac. Gtr.

E. B.

D. S.

13

Pno.

Ac. Gtr.

E. B.

D. S.

16

Pno.

Ac. Gtr.

E.B.

D. S.

16 *p* *cresc.*

16 *p* *cresc.*

16 *p* *cresc.*

16 *p* *cresc.*

18

Pno.

Ac. Gtr.

E.B.

D. S.

18 *mf* *cresc.*

18 *mf* *cresc.*

18 *mf* *cresc.*

20

Pno.

Ac. Gtr.

E. B.

D. S.

22

B m

B m

Pno.

Ac. Gtr.

E. B.

D. S.

24 F F Dm

Pno.

Ac. Gtr.

E. B.

D. S.

26 *f*

Pno.

Ac. Gtr. *mf* Bm Bm Dm

E. B. *mf*

D. S.

28

Pno.

Ac. Gtr.

E. B.

D. S.

30

Pno.

Ac. Gtr.

E. B.

D. S.

Última Rayuela

32

Pno. F Dm

Ac. Gtr. F Dm

E.B.

D. S.

34

Pno. *mf* Bm F D

Ac. Gtr. *con brio*

E.B.

D. S.

36 F Dm

Pno.

Ac. Gtr.

E. B.

D. S.

38 *mf*

Pno.

Ac. Gtr.

E. B.

D. S.

40

Pno.

40

Ac. Gtr.

E.B.

40

D. S.

The musical score for page 9 of 'Última Rayuela' consists of four staves. The first staff, labeled 'Pno.', is a grand staff with a treble clef and a bass clef. It begins at measure 40 with a series of eighth notes in the bass clef and quarter notes in the treble clef. The second staff, labeled 'Ac. Gtr.', is a single staff with a treble clef. It begins at measure 40 with a series of eighth notes, including a flat, and features a slur over the final two measures. The third staff, labeled 'E.B.', is a single staff with a bass clef, containing rests for the duration of the piece. The fourth staff, labeled 'D. S.', is a single staff with a double bar line at the beginning, indicating the start of a double bar section, and contains rests. The page number '40' is written above the first measure of each staff.

