

GENÉTICA: DISCIPLINA DE LA BIOLOGÍA UNIFICADORA DE OTRAS CIENCIAS

Por: Oriana I. Batista C.

08/09/2021



Antecedentes históricos

La genética es una rama de la biología con rápida evolución, amplio rango de aplicaciones y crecimiento dinámico. La misma busca comprender la herencia genética, transmitida de generación en generación, entre los miembros de una especie bajo diferentes condiciones ambientales. Las especies, desde las más simples, entre ellas las bacterias (ej. *Escherichia coli*), hasta las más complejas incluyendo al hombre (*homo sapiens*) preservan su material hereditario en la forma de ácidos nucleicos, ARN o ADN.

La genética tiene su aparición a mediados del siglo XIX, con los valiosos aportes de Gregorio Mendel; un desarrollo rápido junto a la biología molecular, desde mediados del siglo XX, caracterizado por importantes descubrimientos como la dilucidación de la estructura del ADN, la invención de tecnologías, la generación de información y legados valiosos, incluyendo la secuenciación completa del genoma humano. Con este patrimonio científico-técnico se ha mejorado la comprensión de la naturaleza biológica del material hereditario, la cual ha sido aplicada al desarrollo de estrategias conducentes al entendimiento de las enfermedades, su diagnóstico, prevención y tratamiento permitiendo asimilar la importancia de la genética en la mayoría de las áreas de la medicina.

Los avances técnicos y metodológicos, a finales de la primera década, del siglo XXI, han permitido un mayor número de descubrimientos de genes codificadores de condiciones mendelianas y de aportes a las enfermedades multifactoriales comunes por medio de la secuenciación del exoma y de nueva generación. Adicionalmente, estas tecnologías junto a herramientas informáticas han facilitado el diagnóstico clínico, entre otras aplicaciones y, por esta razón, se ha dado un incremento acelerado en el conocimiento de la función del genoma, en el entendimiento de las enfermedades y, también, se ha desafiado nuestra comprensión acerca de los conceptos fundamentales de la genética humana.

Una continuidad en la generación de información científica, fundamentada en las moléculas que rigen el funcionamiento de un ser vivo, ha ocurrido más, recientemente, a través de las ciencias ómicas. La definición de éstas es, fácilmente, comprendida a través del proceso de expresión génica que inicia, en la mayoría de los organismos, con el desciframiento del ADN de los genes que integran el genoma, a la forma de ARNs, seguido de la conversión de algunos de éstos a proteínas, varias de las cuales son moléculas que participan en el metabolismo u otros procesos celulares para la realización de diversas funciones. Los términos acuñados para estudiar cada una de estas moléculas, en los diferentes niveles, moleculares de la expresión génica son: genómica, transcriptómica y proteómica o metabolómica, respectivamente. Por lo tanto, actualmente, los genetistas y científicos, con formación afín, utilizan la estrategia multi-omics para comprender la complejidad biológica que existe entre los diferentes niveles moleculares que originan el fenotipo final de un individuo. De esta manera, la combinación del conocimiento derivado de las diferentes ciencias ómicas aunado a la consideración de otros aspectos que interfieren en la manifestación fenotípica de un individuo permitirán una mejor comprensión de éste desde el punto de vista molecular. Con los aportes de estas nuevas ciencias nos aproximaremos a una medicina más personalizada donde el biólogo, actualizado, se constituye en uno de los científicos llamados a contribuir, dada su comprensión de los mecanismos moleculares, fisiológicos, fisiopatológicos moleculares y evolutivos propios de las enfermedades, entre otros aspectos.

Comprensión del papel unificador de la genética

Desde los 21 años me inicié en el fascinante mundo de la genética con la lectura de varios textos académicos y obras literarias incluyendo la titulada: "En busca de Eva" escrita por Michael Brown, en la cual describió parte de las investigaciones acerca de la evolución de los humanos mediante el uso del ADN mitocondrial (ADNmt). Así, alrededor de los 90 del siglo pasado, comprendí el origen africano de la primera mujer, la cual en términos genéticos significa una mayor variabilidad en las secuencias del ADNmt, de esa población, respecto a otras. Aún con gratitud recuerdo aquella obra obsequiada por el Dr. Carmelo Ciniglio, catedrático genetista, con quien pude compartir ideas acerca del legado de Gregorio Mendel y de Charles Darwin, padre de la genética y creador de la teoría de la evolución, por selección natural, respectivamente. Los grandes retratos de estos dos inmortales científicos, colgados por nosotros, en parte del área de genética de la Escuela de Biología, de la Universidad de Panamá, fueron elementos de aquellos espacios de discusión, en los que, se incluyeron, también, intentos para realizar mi primera investigación, interdisciplinaria, acerca de una enfermedad para la cual logré crear un nuevo método, de diagnóstico genético, cuando me consolidé como genetista. Así, en mi naciente carrera profesional, como licenciada en biología, comprendí que la molécula que constituía la base de los estudios de genética, o sea el ADN, era utilizada para estudios evolutivos propios de la biología, así como aquellos relacionados con las causas de las enfermedades, aplicados a la medicina. En resumen, esas fueron las primeras experiencias que me facilitaron el reconocimiento de la genética como una disciplina unificadora de otras ciencias y la lectura de la obra de Brown que despertó curiosidad, en mí, junto con alguna experiencia ya en investigación en el Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI), me condujeron, en 1991, a entrevistarme con el Dr. Eldredge Bermingham, director del Laboratorio de Biología Molecular y Evolución del STRI. El doctor Bermingham, un año más tarde, junto a la Dra. Connie Kolman, dirigieron parte de la tesis de maestría y me unieron a otras investigaciones acerca de los grupos poblacionales panameños usando ADNmt, las cuales, fundamentadas en principios evolutivos, se constituyeron en la base

para investigaciones en identificación humana y en enfermedades en los centros que fundaría posteriormente.

Nuevas vivencias que incluyen aportes científicos, por más de dos décadas, de formación académica y adquisición de experiencias en centros e institutos de genética humana en la facultad de ciencias y/o medicina, en Panamá y fuera del país, me han permitido sumar múltiples ejemplos acerca del papel unificador de la genética, con los cuales es fácil inferir que la misma se constituye, sin duda alguna, en un puente entre la biología y otros campos del saber incluyendo medicina, derecho, química, psicología, nutrición, farmacia, agronomía e informática, entre otros. Este papel unificador de la genética está fundamentado, en parte, en el uso de tecnologías moleculares, en la necesidad de análisis de la vasta información genética con herramientas informáticas, así como en el objeto de estudio de algunas de estas disciplinas, los seres vivos, cuyo andamiaje biológico es producto del material hereditario codificante de las características morfológicas, fisiológicas, bioquímicas, neurológicas y de comportamiento, entre otras. Adicionalmente, las aplicaciones de la genética se han extendido a los sectores productivos, en los cuales, también, se utilizan los procesos biológicos o sus fundamentos. De esta manera, los estudios de los ácidos nucleicos generan conocimientos necesarios en las actividades agropecuarias, propias del sector primario, ejemplo, diversidad genética de múltiples especies y modificación de los organismos por ingeniería genética; hasta las actividades de diversión típicas del sector quinario, verbigracia, el conocimiento de los orígenes o ancestría y el grado de parentesco entre individuos, mediante ADN. Por lo tanto, la genética es, por su esencia, una disciplina científica unificadora.

Tendencias mundiales de la aplicación de la genética a la salud humana

De acuerdo con la Clasificación Internacional Normalizada de la Educación (CINE), la cual lista las áreas y subáreas del conocimiento establecidas por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 1997 y 2011), las siguientes forman parte de las ciencias de la vida: biología, botánica, bacteriología, toxicología, microbiología, zoología, entomología, ornitología, genética, bioquímica, biofísica y otras ciencias afines. No es raro que la genética sea parte de esta clasificación, pues históricamente, por la naturaleza de la misma, ha ocupado ese sitio y es recomendable se mantengan las estructuras organizativas ya establecidas por organizaciones serias relacionadas con la educación, las ciencias y la tecnología.

Académicamente hablando, una clasificación que aflora en los institutos y centros de genética humana, donde estudie, incluyen la citogenética, la genética molecular, la bioquímica genética y la genética clínica como subdisciplinas clásicas de la genética humana. Las tres primeras son, normalmente, realizadas por científicos y la última por médicos. Sin embargo, en países con mayor desarrollo, de la genética humana y médica, que Panamá se aprecian algunas combinaciones, en las cuales un profesional aprueba dos o más especialidades. Por ejemplo, un científico, con formación en citogenética o genética molecular, podría estudiar medicina y continuar especializándose, clínicamente, para ser parte de los profesionales que ejercerán la genética clínica. De igual forma, un médico genetista podría realizar un doctorado y posdoctorado científico en genética molecular, o citogenética para trabajar en investigación, diagnóstico genético, desarrollos tecnológicos y actividades afines. Como es de esperar habrá una mejor formación cuando se complementen los conocimientos científicos con los clínicos mediante la culminación completa de ambos programas académicos formales, el científico y el clínico.

También, proyectos para el establecimiento de las competencias de profesionales de salud involucrados en la provisión del cuidado de la salud, en genética, realizados en la Comunidad Europea y Estados Unidos demuestran la preocupación y el compromiso para proveer a las familias que padecen de enfermedades con los cuidados de salud disponibles, actualmente. Este tipo de planificación coadyuva en la provisión de equidad en el ejercicio de la profesión y compromiso académico, así como en el establecimiento de programas curriculares formales que garanticen la consecución de competencias requeridas para proveer mejores servicios de salud en genética. De acuerdo con Skirton y colaboradores (2010) dada la necesidad de preparar un rango de profesionales de la salud del espectro de atención primaria, secundaria y terciaria, con un marco común, se identificaron tres grupos de profesionales de salud: 1) los que trabajan en un entorno generalista, 2) los que tienen especialidad diferente a la genética y 3) los especialistas en genética. De acuerdo al autor a través de trabajos consensuados de 16 países europeos que a su vez incluyeron la participación de diversas organizaciones, entre ellas, la American Society of Human Genetics y de expertos del proyecto EuroGenTest se estableció que todos estos profesionales requieren educación y entrenamiento en genética. Entre los especialistas en genética al cuidado de la salud se incluyeron: genetistas clínicos, enfermeros especialistas en genética o consejeros genéticos, genetistas moleculares, citogenetistas, bioquímicos y biomédicos. A continuación, se listan las competencias para cada uno de estos especialistas, en genética aplicada a la salud, recomendadas en el artículo.

Genetistas clínicos

- 1) Identificar a las personas y familias cuyo trastorno está determinado, en parte o en su totalidad, por un componente genético.
- 2) Determinar la exactitud del diagnóstico clínico y, si es necesario, iniciar un examen clínico adicional.
- 3) Familiarizarse con la viabilidad y accesibilidad de los servicios genéticos que podrían ayudar a las personas y familias a través del asesoramiento genético.
- 4) Proporcionar un punto de vista especializado acerca de la naturaleza de un trastorno genético.
- 5) Determinar la necesidad y la utilidad de las pruebas genéticas relacionadas con una enfermedad.
- 6) Comprender el significado de los resultados de las pruebas genéticas y traducir esos resultados en información práctica específica de la enfermedad, tanto para los pacientes como para otros profesionales.
- 7) Ayudar a las personas y a las familias a comprender la información proporcionada durante el asesoramiento genético.
- 8) Facilitar el entendimiento acerca de los trastornos genéticos, los resultados de las pruebas y los patrones de herencia entre individuos, familias, sus médicos de familia y especialistas.
- 9) Determinar el riesgo de aparición o recurrencia de una enfermedad o afección.
- 10) Comprender los componentes genéticos y ambientales de enfermedades comunes.
- 11) Proporcionar información genética que ayude a las personas o parejas a tomar decisiones reproductivas informadas.
- 12) Trabajar dentro de los límites de la práctica ética.

Genetistas moleculares

1. Trabajar de forma independiente en el laboratorio de pruebas de genética molecular.

2. Realizar una serie de pruebas genéticas con fines de diagnóstico, determinación del estado de portador y pruebas predictivas.
3. Interpretar los resultados de las pruebas genéticas que se realicen.
4. Proporcionar información a los profesionales de la salud basada tanto en los resultados como en la interpretación de los resultados.
5. Participar en la investigación clínica y en la introducción de nuevos métodos.

Citogenetistas

1. Trabajar de forma independiente en el laboratorio citogenético.
2. Trabajar con destreza en el cultivo de células para el examen cromosómico prenatal y posnatal, procesamiento de células, preparación de portaobjetos y cariotipo.
3. Interpretar los resultados de los hallazgos citogenéticos y citogenéticos moleculares.
4. Proporcionar información a los profesionales de la salud basada tanto en los resultados como en la interpretación de los resultados.
5. Participar en la investigación clínica y en la introducción de nuevos métodos.

Científicos bioquímicos y biomédicos

1. Trabajar de forma independiente en el laboratorio bioquímico.
2. Realizar pruebas bioquímicas relacionadas con el diagnóstico y manejo de enfermedades genéticas y estados portadores, especialmente, relacionados con errores innatos del metabolismo.
3. Interpretar los resultados de las pruebas bioquímicas.
4. Proporcionar información a los profesionales de la salud basada tanto en los resultados como en la interpretación de los resultados.
5. Participar en la investigación clínica y en la introducción de nuevos métodos.

Por otro lado, para el inicio de la segunda década, de este siglo, organizaciones que norman el ejercicio de la profesión de la genética médica, en Estados Unidos, incluían el dominio de conocimientos y la adquisición de destrezas tecnológicas, en genómica, como parte de las competencias de los especialistas en genética. Existe, por lo tanto, una clasificación actualizada para los especialistas en genética al cuidado de la salud, en los cuales se incluyen médicos y científicos. Algunas de estas especialidades son las siguientes: 1) genética y genómica clínica, 2) bioquímica genética clínica y 3) genética y genómica de laboratorio. Esta última sustituye, a partir del 2017, a la citogenética y genómica clínica y a la genética y genómica molecular clínica. Las competencias para un especialista en genética y genómica de laboratorio de acuerdo con la American Board of Medical Genetics and Genomics (http://abmgg.org/pages/training_options.shtml) son las siguientes:

Genética y genómica de laboratorio

- 1) Capacidad de supervisar y dirigir las operaciones de un laboratorio de diagnóstico de genética molecular clínica o citogenética clínica, incluida la experiencia técnica necesaria, la comprensión del control de calidad y los procedimientos de evaluación de la calidad y el cumplimiento de los requisitos reglamentarios (por ejemplo, CLIA, CAP).
- 2) Conocimiento de la etiología, heterogeneidad, variabilidad, historia natural y manejo clínico de los trastornos con base citogenética o molecular.
- 3) Conocimiento de la biología molecular básica, la biología cromosómica y los mecanismos genómicos de las enfermedades.

- 4) Capacidad de seleccionar y aplicar las tecnologías actuales y en evolución más apropiadas, incluido el cariotipo, FISH, *microarrays* y metodologías de secuenciación de ADN, de próxima generación, para diagnosticar enfermedades humanas.
- 5) Capacidad de orientar el desarrollo y la validación de ensayos apropiados utilizados en la evaluación de trastornos con una base cromosómica o molecular.
- 6) Capacidad de interpretar una amplia gama de pruebas de diagnóstico genético, incluidas las metodologías que evalúan aneuploidías cromosómicas, reordenamientos cromosómicos estructurales, variantes del número de copias genómicas (CNV), variantes de un solo nucleótido (SNV), cambios estructurales dentro de genes únicos y ausencia o pérdida de heterocigosidad (AOH / LOH).
- 7) Capacidad de analizar varios tipos de tejidos como: tumores, ADN libre de células, médula ósea, fibroblastos y saliva.
- 8) Capacidad de integrar datos clínicos (por ejemplo, antecedentes familiares, examen físico, resultados de cualquier prueba de diagnóstico) en una interpretación individualizada de los resultados de laboratorio.
- 9) Buenas habilidades de comunicación que facilitan la discusión de los resultados de laboratorio con los proveedores de referencia y que permiten un enfoque de equipo para guiar más pruebas y manejo clínico.
- 10) Capacidad de comunicar los resultados del laboratorio de genética molecular y citogenética, directamente, a los pacientes, cuando sea necesario, y en conjunto con otros miembros del equipo clínico.

Para lograr las competencias como especialista en genética y genómica de laboratorio, a través de un posdoctorado, el candidato deberá llenar una serie de requisitos entre los que se incluyen haber logrado un doctorado científico en genética molecular o afin en una institución académica con trayectoria, los cuales pueden ser logrados por profesionales de las ciencias biológicas que hayan iniciado carrera profesional en este campo. De igual manera, hay requisitos para las otras especialidades que no se mencionarán aquí, debido a que el objetivo de este artículo es contribuir a que los profesionales de las ciencias biológicas y afines, de Panamá, tengan una orientación para continuar sus carreras profesionales siguiendo modelos establecidos en países con mayor grado de evolución en el desarrollo de la genética y genómica.

Desafíos y oportunidades para el profesional de las ciencias biológicas en Panamá

Recientemente, presenté más aportes relacionados con la genética como una disciplina biológica unificadora mediante dos conferencias magistrales, en calidad de invitada, a profesionales y estudiantes del Centro Regional Universitario de Coclé de la Universidad de Panamá y mediante la plataforma del Colegio de Biólogos, los días 27 y 28 de agosto del presente, respectivamente. Las conferencias en su orden cronológico fueron tituladas: 1) Estrategias para fortalecer el papel del biólogo en el campo de la genética y la biomedicina en Panamá. Realidad y desafíos y 2) Hacia una participación del biólogo, en salud, con mayor pertenencia y equidad en Panamá. A continuación el enlace de la videoconferencia (<https://www.youtube.com/watch?v=Ce4KSyd9L0E&t=9s>).

Ambas conferencias formaron parte de otras actividades realizadas en el marco de la conmemoración del día del biólogo panameño, el pasado 28 de agosto, y enfatizaron la

contribución científica del biólogo al sector salud y el trabajo pendiente por realizar. La consideración de aspectos históricos, conceptuales, académicos y acerca de la evolución de la genética y genómica permitieron hacer referencia de la contribución científica del biólogo, al sector salud, y sensibilizar acerca del trabajo pendiente por realizar en Panamá. Los temas de las conferencias estuvieron alineados con los fundamentos de la formación del biólogo y, sin duda, el contenido ayudará a establecer las bases para el logro de metas cónsonas con la realidad científica y las tendencias mundiales a través del Colegio de Biólogos, actualmente, presidido por el magíster Ambiorix Batista.

A las videoconferencias zoom se unieron, alrededor de 150 estudiantes y profesionales del sector público y privado y, las mismas, se constituyeron en una contribución del Centro Gendiagnostik, SA y del Centro Especializado de Genética/UNACHI, ambos fundados por mi persona en el 2006. Dicha contribución, además, de estar basada en mi formación como genetista, desde 1993, en la experiencia ganada en estos centros, desde el 2006, se fundamenta, también, en evidencias científicas actualizadas y en acuerdos establecidos por organizaciones tales como la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). El magíster Ambiorix Batista, durante la última videoconferencia, enfatizó que hacemos este aporte científico a la sociedad panameña con la finalidad de educar acerca de los avances de la genética y genómica y contribuir a que los conocimientos generados mediante estas disciplinas impacten socialmente. Adicionalmente, señaló que el Colegio de Biólogos, apoyará de forma consistente y sistemática el fortalecimiento del papel del biólogo como profesional en el campo de la biomedicina y de la genética, dos áreas del saber con mucha aplicación en la prevención, diagnóstico e investigación de las enfermedades genéticas e infecciosas.

La Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, a través del Centro Especializado de Genética y otras unidades académicas de la UNACHI, así como el Centro Gendiagnostik, SA y entidades de salud, en el 2006, en colaboración con expertos genetistas internacionales realizaron una planificación con la finalidad de participar, con compromiso y responsabilidad, en la formación de profesionales en las ciencias biológicas, con conocimientos actualizados en genética molecular, citogenética, bioquímica, genómica, bioinformática y áreas afines, las cuales fortalecerán sus competencias para la investigación y el diagnóstico de las enfermedades genéticas e infecciosas, así como para los estudios de la diversidad genética humana y la de otros organismos.

Las capacidades tecnológicas establecidas en el Centro Especializado de Genética, además de permitir el establecimiento de tecnologías que van desde la extracción hasta la secuenciación del ADN y el genotipado, mediante electroforesis capilar, han facilitado la realización de investigaciones en enfermedades que incluyen la deficiencia de la glucosa seis fosfato deshidrogenasa, fibrosis quística, infecciones por patógenos de transmisión sexual tales como el virus del papiloma humano, *Chlamydia trachomatis*, *Neisseria gonorrhoeae* y *Mycoplasma genitalium*. Las plataformas creadas aportan, también, facilidades y conocimientos a los estudiantes de la maestría en biología y de química con énfasis en inocuidad alimentaria. Parte de la planificación inicial consistente en la creación de la licenciatura en genética y genómica, se inició a mediados del semestre pasado e, indudablemente, la plataforma ya existente en infraestructura de laboratorio y otras capacidades científicas facilitarán el inicio de esta carrera para la formación actualizada del estudiante de las ciencias biológicas. La ejecución del plan inicial, establecido en el 2006, ha recibido la colaboración de las administraciones lideradas por el Dr. Héctor Requena; la Magíster Etelevina de Bonagas, incluyendo las vicerrectorías a su cargo, y la dirección de currículo; así como la del decanato de la Facultad de Ciencias Naturales y Exactas dirigido,

actualmente, por el Dr. Orlando Cáceres y de la comisión de nuevas carreras de dicha facultad. A este primer esfuerzo de más de una década se unieron otros actores que incluyen el Club de Genética, la Sociedad Panameña de Genética, en establecimiento y, más recientemente, el Colegio de Biólogos y centros e institutos de investigación internacionales.

El Centro Gendiagnostik, SA, el cual oferta cinco categorías de servicios genéticos y brinda la oportunidad de investigaciones ha sido clave para la transferencia de tecnologías desde países desarrollados, la validación y creación de nuevos métodos de diagnóstico genético, a través de programas de innovación empresarial, generación de capacidades, movilidad de la SENACYT y de la Comunidad Europea, principalmente. De igual manera, el establecimiento de nuevos programas y líneas de investigación han permitido la generación y el mejoramiento de los programas curriculares para cursos tales como: bioinformática, genética forense, criminalística, genética general, genética humana y genética avanzada con el apoyo de diversos programas, incluyendo el de Fomento a la Innovación Educativa de la SENACYT. Adicionalmente, se han realizado desarrollos tecnológicos, invención de patentes y publicaciones de investigaciones de trabajos de graduación, así como seminarios-talleres, de 40 horas, que han beneficiado a un total de más de 5000 estudiantes y profesionales de diversas provincias. Estas actividades solo han introducido a los participantes en el campo de la genética y, por lo tanto, nuevas competencias deberán ser adquiridas, por ellos, mediante programas formales de licenciatura, maestría, doctorados y posdoctorados para lograr las especializaciones en el campo de la genética y afines y el ejercicio de la profesión, en genética y genómica, con la idoneidad requerida.

Finalmente, nuestra planificación, de años, establecida con base en la experiencia lograda a través de programas académicos rigurosos de genética, genética molecular humana y genética clínica molecular de la Universidad de Costa Rica, la Martin Luther Halle-Wittenberg Universität y la Boston University, de Costa Rica, Alemania y Estados Unidos, respectivamente, aunada a la revisión de evidencias científicas, en revistas indexadas, y otra literatura disponible en internet permiten inferir acerca del importante desafío que tiene el profesional de las ciencias biológicas y áreas afines de nuestro país, de mantenerse actualizado, para comprender la naturaleza genética, la fisiopatología molecular de las enfermedades, la diversidad genética de las poblaciones y los mecanismos evolutivos, entre otros aspectos, implicados en el campo de la salud humana y no humana.

Recomendaciones

Finalmente, es recomendable, que las unidades académicas de nuestras universidades, las sociedades y otras organizaciones relacionadas con la aplicación de la genética y genómica u otros comités o entidades relacionadas con la educación y/o la orientación de la ciencia y la tecnología, en el país, estén comprometidas no solo con la existencia de excelentes programas curriculares que satisfagan la adquisición de las competencias requeridas en este campo de la genética, genómica y ciencias afines, sino también, con el desempeño de la profesión con base en idoneidades basadas en la adquisición de las competencias logradas a través de programas académicos formales y actualizados.

Aquí, se listan tres recomendaciones para la optimización del ejercicio de la profesión de la genética, genómica y afines aplicados a la salud: primero, la aceptación de la interdisciplinariedad basada en modelos y organizaciones ya establecidas, en países con mayor evolución científica, así como en las tendencias mundiales. Dada la globalización

nuestros egresados deben tener no solo la aptitud, actitud y el deseo para laborar productivamente, sino la opción de trabajar o insertarse en otros programas académicos, fuera del país, para continuar su formación. Segundo, reorganizar y estructurar, con base en evidencia científica y la experiencia lograda en programas académicos los comités o figuras que, con compromiso y responsabilidad, determinarán los profesionales aptos y las normas apropiadas para la realización de diversas actividades relacionadas con la genética y las ciencias ómicas, incluyendo el diagnóstico genético y los desarrollos tecnológicos basados en la innovación, con la finalidad de resolver nuestros problemas sanitarios, relacionados con estudios de naturaleza molecular. La pandemia de la COVID-19 es solo uno de ellos, ya que existen otros que incluyen enfermedades no transmisibles que requieren la realización del diagnóstico e investigaciones, por profesionales idóneos, en Panamá. Tercero, la igualdad de oportunidades y la equidad en el ejercicio de la profesión son dos consideraciones a tomar para garantizar que todos los profesionales involucrados en el estudio de las moléculas que fundamentan el dogma central de la biología: biólogos, bioquímicos, médicos u otras profesionales afines, con la formación académica apropiada, formen parte de ese equipo interdisciplinario. La equidad en este tema supone que deben existir programas y estrategias que garanticen la participación de los profesionales formados en las ciencias del saber, arriba mencionadas, con las mismas posibilidades, independientemente, de la institución donde laboren y el país donde se encuentren.

Finalmente, frente a un mundo globalizado los profesionales de las ciencias biológicas y afines, de Panamá, tienen la oportunidad de orientar sus carreras profesionales, con base en modelos establecidos en países con mayor grado de evolución en genética y genómica, y de aceptar el desafío de la actualización y la adecuación de las normas legales en Panamá para un mayor beneficio de la sociedad.

Bibliografía

American Board of Medical Genetics and Genomics (4 de agosto de 2017).
http://abmgg.org/pages/training_options.shtml

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (1997).
Clasificación Internacional Normalizada de la Educación.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2011).
International Standard Classification of Education.

Participación del biólogo genetista en salud- Conferencia magistral. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=Ce4KSyd9L0E&t=9s>

Skirton H., Lewis C., Kent A., Coviello D.A., the member of Eurogentest Unit 6 and ESHG Education Committee (2010). Genetic education and the challenge of genomic medicine: development of core competences to support preparation of health professionals in Europe, European Journal of Human Genetics 18:972-977.

