



## ARTÍCULO ESPECIAL

# La enseñanza de Farmacogenética/Farmacogenómica y Genética en las facultades de Farmacia de España, las causas del atraso



Andrés Corno Caparrós<sup>a,\*</sup>, Pedro García Salom<sup>b</sup> y Amparo Soria Aledo<sup>c</sup>

<sup>a</sup> *Análisis Genéticos ANCOR, Alicante, España*

<sup>b</sup> *Hospital Vega Baja-Alicante, profesor asociado UMH, Farmacia y tecnología farmacéutica, Alicante, España*

<sup>c</sup> *Departamento salud Orihuela-Alicante, Profesora asociada UMH, Organización Empresas*

Recibido el 10 de octubre de 2016; aceptado el 29 de marzo de 2017

Disponible en Internet el 2 de junio de 2017

### PALABRAS CLAVE

Enseñanza Genética;  
Enseñanza  
Farmacogenética;  
Enseñanza  
Farmacogenómica;  
Facultades de  
Farmacia de España

**Resumen** La asignatura de Farmacogenética/Farmacogenómica (FG) se imparte en el 26,1% de las facultades de Farmacia (FF), siendo su porcentaje en las privadas del 40% y en las públicas 15,3%, y la de Genética en un 30,4%, homogéneo en ambas. Hace 6 años, en el 2010, y referido a la FG, este porcentaje era más de 3 veces superior (89,3%) en las FF de Estados Unidos. El mayor porcentaje de aquellas en las que no se imparte ninguna de las 2 asignaturas se da en las facultades que concentran la mayor oferta de plazas. En aquellas que las imparten, el carácter es mayoritariamente obligatorio. A la asignatura de Genética se le dedican 6 ECTS y a la de FG 3 ECTS. Ambas tienen un marcado carácter teórico, con una escasa o nula formación en el ámbito experimental, analítico, clínico o sanitario. Las desigualdades formativas de estas materias en nuestro país, cuando los conocimientos son universales, sientan las bases para una desigual aplicación de los avances científicos y condicionan el principio de universalidad de nuestra sanidad. Esta falta de conocimientos impide hoy una dispensación segura y eficaz en un buen número de fármacos siguiendo las recomendaciones de agencias reguladoras, como la Agencia Europea de Medicamentos o la Food and Drug Administration.

© 2017 Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [aacorno@hotmail.com](mailto:aacorno@hotmail.com) (A. Corno Caparrós).

**KEYWORDS**

Genetics education;  
Pharmacogenetics  
education;  
Pharmacogenomics  
education;  
Spanish Pharmacy  
faculties

### Teaching of Pharmacogenetics, Pharmacogenomics and Genetics in Spanish Pharmacy Faculties; causes of delay

**Abstract** The subject of Pharmacogenetics/Pharmacogenomics (PG) is provided in the 26.1% of the Spanish Pharmacy faculties, with the percentage being higher in private faculties (40%) than in the public ones (15.3%), and similar in Genetics (30.4%, in both). Six years ago in 2010, the teaching of PG was three times higher (89.3%) in American faculties. The higher percentage of those who do not provide/teach either of these two subjects relates to faculties that offer a higher number of places. In those where it is provided, it is mainly a mandatory subject. The subject of Genetics subject consists of 6 ECTS (European credit transfer and accumulation system), and the PG course 3 ECTS. Both have a high theoretical content, with a partial or total absence of practical, analytical, or health-related training. As knowledge is universal, these inequalities in the area of education of those subjects in our country lays the foundation for an unequal application of scientific advances and influences the principal of universality in our health. This lack of knowledge prevents having a safe and effective dispensation of drugs, following the recommendations of Regulatory Agencies like European Medicines Agency and Food and Drug Administration.

© 2017 Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## Introducción

La farmacogenética es una ciencia básica y aplicada que tiene sus orígenes en trabajos de confluencia en Genética, Bioquímica y Farmacología. Y en la publicación, reconocida como seminal de Arno Motulsky sobre la farmacogenética «como ciencia experimental relativa a las diferencias interpersonales en la respuesta a los fármacos que se manifiestan como consecuencia de la constitución genética única de las personas»<sup>1</sup>. Vogel en 1959<sup>2</sup> acuñó el término de farmacogenética y propuso que se aplicase al estudio de los efectos de la herencia en la respuesta farmacológica. Werner Kalow en 1962 publicó el primer trabajo sistemático sobre esta ciencia. A pesar de sus inicios en la década de los 60, ha sido a partir del Proyecto Genoma Humano (1990-2003), al desarrollo tecnológico y a la inversión en investigación, específicamente en farmacogenómica (FG) desde el año 2000, que ha originado un extraordinario desarrollo de la misma, haciendo tangible a los clínicos y a la sociedad la medicina personalizada<sup>3,4</sup>.

La FG constituye un eje central de las ciencias farmacéuticas, lo mismo que la anatomía lo es de las ciencias médicas. Es la ciencia que está permitiendo conocer y caracterizar con detalle el medio interno que da cuenta de la respuesta terapéutica en toda persona a la que se administra un fármaco. De todos aquellos genes y proteínas que median la farmacocinética y la farmacodinamia; en concreto de las 38 familias génicas y 925 genes (tabla 1) que es necesario conocer por todos aquellos para los que el fármaco constituya un eje de su actividad profesional.

Es una ciencia que permite responder a preguntas como: ¿cuántas dianas farmacológicas son cubiertas por los fármacos autorizados?, o ¿cuántas dianas potenciales hay?<sup>5</sup>. Se ha convertido en una ciencia indispensable en la investigación, desarrollo y dispensación, como lo fue en la década de los 80 la ingeniería genética en la fabricación de fármacos, convirtiéndose en una herramienta útil para una prescripción

**Tabla 1** El espacio farmacogenómico. Farmacogenes de metabolización y farmacogenes diana, su número, número de familias y ejemplos de algunos con utilidad en clínica

Fases metabolización	N.º genes-familias	Ej. genes con variaciones. Utilidad clínica
<i>Fase I. Activación</i>	110-7	CYP2D6, CYP2C19, CYP2C9, CYP2C8, CYP3A5
<i>Fase II. Conjugación</i>	99-6	UGT1A1, TPMT
<i>Fase III. Transporte</i>	454-2 (SLC-ABC)	SLC01B1
<i>Fase IV. R. nucleares</i>	48-7	VDR
<i>Tipos dianas</i>		
Enzimas	78-9	VKORC1
Receptores	85-7	HTR2A
Proteínas transporte	11	CFTR
ADN, ARN, ribosomas	13	
Anticuerpos monoclonales	14	EGFR, VEFG
<b>Total</b>	<b>925-38</b>	

Fuente: elaboración propia.

segura y eficaz. Está permitiendo conocer en detalle los mecanismos moleculares que dan cuenta de la aparición y la progresión de las enfermedades, sentando las bases de unas estrategias de prevención y tratamiento más precisas. Como decía Collins en la presentación de la estrategia «Medicina de precisión»<sup>3</sup>, dar el fármaco adecuado a la persona adecuada en el momento y la dosis adecuada en función de sus características genéticas.

Nuevos conocimientos que comportan cambios significativos a la hora de abordar la mejor aproximación para el paciente; de una farmacoterapia basada en la evidencia (en numerosas ocasiones no aplicable a un paciente concreto) a una farmacoterapia basada en el mecanismo, dado

que la farmacogenética del paciente desempeña un papel determinante en la respuesta<sup>6</sup>.

Los farmacéuticos (F) como proveedores en el punto de atención y expertos en fármacos están excepcionalmente posicionados en el sistema sanitario para una vez actualizados en estas materias educar a otros profesionales sanitarios y a los pacientes sobre la interpretación y aplicación de los resultados de los test farmacogenéticos. La formación del F y su background práctico también permiten participar en el desarrollo de la FG y propiciar su integración. A través de estas actividades, el F tiene la posibilidad y el potencial de ser una parte fundamental en esta nueva era de la medicina personalizada<sup>7</sup>.

Por todo ello, es necesario que las universidades, y en especial los equipos de gobierno de las facultades que imparten los grados en Salud (Farmacia, Medicina, Enfermería y otras) de nuestro país, así como del resto de países de la Unión Europea fueran los adalides de esta evolución con implicaciones clínicas en la salud de la población.

## Material y métodos

En este estudio se ha partido para la identificación de las universidades españolas que imparten el grado académico de Farmacia, del listado de oferta de titulaciones del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte del 6 de julio del 2015. Según el mismo, se imparte el grado de Farmacia en 23 universidades, siendo 13 las facultades públicas y 10 las privadas. Siendo las públicas las facultades de Farmacia (FF) de: Murcia, Complutense de Madrid, La Laguna, Valencia Estudios Generales, Alcalá de Henares, Miguel Hernández-Elche, País Vasco, Salamanca, Castilla-La Mancha, Barcelona, Santiago de Compostela, Granada y Sevilla. Y las privadas las de: Alfonso X el Sabio, Cardenal Herrera CEU, Católica de San Antonio, Navarra, Francisco Victoria, Europea de Madrid, San Pablo CEU de Madrid y las Ramón Llull de Blanquerna, y la de la Escuela Técnica Superior IQS.

A partir de las páginas web de cada universidad se procedió primero al análisis del plan de estudios y en segundo lugar, y siempre que fue posible, al análisis de las guías docentes y fichas de las asignaturas para conocer el contenido de las mismas de forma que permitiese un análisis preciso de la situación en España.

Tras el análisis de los programas y las guías se reflejan los datos obtenidos en forma de tabla (tabla 2), reseñando la universidad, el número de plazas ofertadas, su carácter público o privado, la presencia en el plan de estudios de las asignaturas: Genética, Farmacogenómica o Farmacogenética o alguna con un nombre próximo, su carácter optativo u obligatorio, el número de créditos y, por último, la presencia de prácticas de carácter experimental, analítico o clínico referido a las citadas materias.

## Objetivos

El objetivo del presente trabajo es disponer de una radiografía de la enseñanza superior concretamente de los estudios de grado de las FF referente a la FG, Farmacogenética y Genética. Analizando tanto su presencia en los planes de estudios y su carácter optativo u obligatorio, como su

extensión y contenidos. El análisis de los resultados debería constituir una base para la reflexión y el planteamiento de estrategias que permitiesen corregir posibles ineficiencias.

## Resultados

### Presencia de las materias

Se reflejan en la tabla 2 los resultados obtenidos. En lo relativo a la presencia de la asignatura de Genética, se comprueba que está presente en 7 de las universidades, lo que representa el 30,4%, siendo en 6 de ellas materia obligatoria y optativa en la Universidad Francisco de Victoria. Desglosando por el carácter público o privado, se imparte Genética en 4 de las 13 universidades públicas, representan el 30,7%, y en 3 de las 10 privadas, es decir en el 30%.

En lo referente a la asignatura de Farmacogenómica o Farmacogenética, esta se imparte en 6 de las 23 universidades, lo que representa el 26,1%. En el desglose por el carácter público o privado, se imparte en 2 de las 13 públicas, representa el 15,3% y en 4 de las 10 privadas, lo que supone el 40%. En lo referido a la presencia de prácticas, bien sean experimentales, analíticas o clínicas, tan solo aparece reflejada como tal en 1 universidad, que es la de Castilla-La Mancha. La existencia de este tipo de formación en el total de las 23 universidades es por tanto del 0,04%. En el desglose por públicas y privadas, presencia en públicas una, que representa el 0,08%, y en privadas 0, que supone el 0%.

### Número de créditos

En lo relativo al número de créditos: en la asignatura de Genética el número de ECTS es de 6 en 6 de ellas y 3 ECTS en la Francisco de Victoria. En la asignatura de Farmacogenética y Farmacogenómica es de 3 ECTS en 4 facultades, 4 ECTS en la FF de Salamanca y 6 ECTS en la FF de Castilla-La Mancha.

### Carácter obligatorio u optativo de las materias

En lo relativo al carácter obligatorio u optativo: la asignatura de Genética tiene carácter obligatorio en la mayoría de ellas, en 5 de 6, y carácter optativo en una. La asignatura de Farmacogenética y Farmacogenómica tiene carácter obligatorio en 5 de 6 universidades.

Podemos resumir diciendo que la asignatura de Genética se imparte en el 30,4% de las FF españolas, que tiene un carácter fundamentalmente obligatorio con 6 ECTS. En lo referente a la Farmacogenética-Farmacogenómica, se imparte como tal en el 26,1%, con una mayor presencia en las privadas (40%), teniendo un carácter mayoritariamente obligatorio, con una extensión de 3 ECTS en el mayor número de ellas.

### Contenidos de la materia

#### Farmacogenómica/Farmacogenética

De las 6 facultades que imparten la asignatura de Farmacogenética-Farmacogenómica como tal (en el caso

**Tabla 2** Facultades de Farmacia en número y porcentaje que imparten las asignaturas de Genética y Farmacogenética-Farmacogenómica, ECTS, carácter obligatorio u optativo y contenidos prácticos en la asignatura de Farmacogenética-Farmacogenómica en los estudios de grado en España en 2015

Universidad	Plazas 14/15	Púb/Priv	Genética % N.º	Farmacogenética % N.º Farmacogenómica	Prácticas
Universidad Murcia	50	Púb	Sí-6 OB	No	No
Universidad Complutense-Madrid	400	Púb	No	No	No
Universidad La Laguna	-	Púb	Sí-6 OB	No	No
Universidad Valencia Estudios Generales	208	Púb	No	No	No
Universidad Alcalá de Henares	150	Púb	Sí-6 OB	No	No
Universidad Miguel Hernández	125	Púb	Sí-6 OB	No	No
Universidad País Vasco	140	Púb	No	No	No
Universidad Salamanca	200	Púb	No	Sí-4 OB	No
Universidad Castilla-La Mancha	60	Púb	No	Sí-6 OB	Sí
Universidad Barcelona	350	Púb	No	No	No
Universidad Santiago Compostela	200	Pub	No	No	No
Universidad Granada	320	Púb	No	No	No
Universidad Sevilla	280	Púb	No	No	No
Universidad Alfonso X El Sabio		Priv	No	No	No
Univ. Cardenal Herrera CEU-UCH	75	Priv	No	No	No
Universidad Católica San Antonio		Priv	No	No	No
Universidad Navarra		Priv	Sí-6 OB	No	No
Universidad Francisco Victoria	50	Priv	Sí-3OP	Sí-3OB	No
Universidad Europea Madrid		Priv	Sí-6 OB	No	No
Univ. Ramon Llull Blanquerna		Priv	No	Sí-3 OB	No
Univ. Ramon Llull E. Técnica Superior	IQS	Priv	No	Sí-3 OB	No
Univ. San Pablo CEU Madrid 1973	120	Priv	No	No	No
Univ. San Jorge-Zaragoza		Priv	No	Sí-3 OP	No
Total universidades presencia		23	30,4%	26,1%	0,04%
			7	6	1
Total universidades públicas		13	30,7%	15,3%	0,08%
			4	2	1
Total universidades privadas		10	30%	40%	0%
			3	4	0

de las 2 de Blanquerna el título de la asignatura es: Terapia individualizada-Farmacogenómica), solo ha sido posible acceder a los contenidos de 3 de ellas, las correspondientes a las facultades de Salamanca (19 temas 4 ECTS OB), Castilla-La Mancha (6 temas-6ECTS OB) y Universidad Francisco de Vitoria(12 temas-3 ECTS OP). Podemos decir que en ellas los contenidos son equilibrados, con aspectos básicos y aplicados a grupos farmacológicos de enfermedades. En el apartado de enseñanza experimental, analítica o clínica, tan solo en la facultad de Castilla-La Mancha se refleja la existencia de 20 h de prácticas de laboratorio.

### Contenidos de la materia Genética

En general, en las 6 FF que imparten la asignatura con tal nombre o con otras denominaciones, como Genética Molecular (Francisco Victoria), Genética Aplicada a la Farmacia (Universidad Miguel Hernández) o Inmunología, Genómica y Farmacogenómica (Alcalá de Henares) o Genética y Farmacogenómica (Navarra), los contenidos tienen un marcado carácter teórico, poco orientado a la práctica clínica o

sanitaria. En pocas se aborda el tema de las patologías de base genética o de herramientas preventivas, por ejemplo, en patologías crónicas la elaboración de la historia familiar. En otras FF a la asignatura Genética se le añade la denominación de «aplicada a la Farmacia», aunque de ello solamente tiene el título, ya que los contenidos no permiten considerarla como tal. En otras, como la de Alcalá, de Genética, Genómica, Farmacogenómica tienen poco, ya que de 22 unidades temáticas 18 tienen que ver con la inmunología, uno con la genómica y 2 con la FG, y estos son muy genéricos. En ninguna se aborda el tema de las enfermedades raras y de los medicamentos huérfanos.

### Discusión

Es conveniente iniciar la discusión refiriéndonos al trabajo de Johnson et al. en 2002<sup>8</sup> y de cómo abordaron las FF americanas el impacto de los nuevos conocimientos en Farmacogenética en la educación. En 2001, Milap C. Nahata, presidente de la American Association of Colleges of Pharmacy (AACP), en virtud de sus estatutos y en un necesario

esfuerzo para preparar a las universidades para anticipar y responder al impacto de los conocimientos emergentes en Farmacogenética, Farmacogenómica, Proteómica y Bioinformática, solicitó al Comité de Asuntos Académicos que respondieran a las siguientes preguntas:

- ¿Cómo cambiará la FG la práctica de la Farmacia?
- ¿En qué periodo se vería el impacto de la Farmacogenómica en la práctica farmacéutica?
- ¿Cómo puede responder la educación farmacéutica a la luz de la evolución de esta base de conocimientos y satisfacer las necesidades de los profesionales del sistema sanitario y de la sociedad?

Instándole a que estableciera una serie de recomendaciones. Este comité de la AACP identificó la necesidad de incluir contenidos en FG en el currículo de Farmacia ya que: «la mayoría de los efectos de los fármacos están determinados por la interrelación de varios productos génicos que gobiernan la farmacocinética y farmacodinamia de la medicación». El Comité creía que la Farmacogenómica cambiaría la práctica farmacéutica con el uso del genotipo del paciente para guiar decisiones en dosificación, con el objeto de mejorar la eficacia de la medicación y reducir la toxicidad. Definiendo en este trabajo las «Competencias en Farmacogenética y Farmacogenómica para farmacéuticos».

En este punto sorprende el *Libro blanco del título de grado en Farmacia* del 2005<sup>9</sup>, financiado por la ANECA. En lo referido a la clasificación de las materias de estudio contenidas en las directrices del año 90 (pág. 209, tabla 56), en la que se recogen las áreas temáticas del grado y en la que no se incorpora ni la Genética ni la Farmacogenética, a pesar de informes como los de la OMS<sup>10,11</sup> y a la abundante literatura científica publicada en la década 1990-2000 sobre los resultados, los avances y las aplicaciones del Proyecto Genoma Humano<sup>12,13</sup>. Sin estos conocimientos, es evidente que no se podía ni se pueden cumplir los objetivos generales y específicos, y las competencias del título de Farmacia en España, que se recogen en el citado *Libro blanco*.

Fueron Latif y McKay<sup>14</sup> los primeros en evaluar, en 2004, la profundidad y la amplitud de los contenidos en farmacogenética y FG que se enseñaban en las FF de los Estados Unidos. Su trabajo se inició como resultado del documento distribuido por el National Coalition for Health Professional Education in Genetics (NCHPEG) y las recomendaciones en 2001-2002 del Academic Affairs Committee de la AACP sobre «Competencias básicas esenciales en Genética para todos los profesionales al cuidado de la salud». Latif y McKay concluyen manifestando que había una conciencia sobre la necesidad de incrementar los niveles de enseñanza en estas áreas en las FF.

Posteriormente, en 2010, Murphy et al.<sup>15</sup> publican los resultados de un estudio sobre 109 facultades de Estados Unidos, de las que contestaron 90 (82,6%), de evaluación de la amplitud, de la profundidad y de la importancia percibida de la enseñanza en FG y del nivel de desarrollo en esta área de las FF. Y 69 facultades (89,3%) incluían la Farmacogenómica en el currículo de grado, comparado con 16 (39%) en el estudio previo de Latif y McKay.

En los estudios de Latif y McKay, la cobertura de la materia variaba desde > 10 h en 28 (40,60%), entre 10-30 h en 29 (42%) y entre 31-60 h en 10 (14,5%). Casi el 50% de las

mismas (46,7%) estaban planeando incrementar la carga de trabajo en los próximos 3 años. Había un consenso general en las FF que respondieron diciendo que: «la enseñanza de la FG estaba adquiriendo una importancia creciente en la práctica de la farmacia».

Aunque no se pueden hacer comparaciones precisas, dado que los estudios analizados en Estados Unidos se refieren al año 2010 y el realizado en España se refiere al 2015, se puede concluir que hace 5 años la FG estaba presente en las universidades de Estados Unidos, en un número más de 3 veces superior a las españolas hoy; esto es 89,3% frente al 26,1%. En estos momentos posiblemente esta diferencia sea mayor dada la opinión que tenían de aumentar la presencia de la materia.

Es reseñable que aquellas FF de nuestro país que ofrecen un mayor número de plazas y, por tanto, generan un mayor número de egresados, es decir en las FF de la Complutense de Madrid, Estudios Generales de Valencia, País Vasco, Barcelona, Santiago, Granada y Sevilla, no se imparte ni la asignatura de Genética ni la de FG.

En el [anexo 1](#) se refleja lo que, según nuestro conocimiento y experiencia, debería constituir el núcleo básico de la materia en sus contenidos teóricos y que todo estudiante de grado de Farmacia debería conocer. Se articula en 7 grandes temas, a saber: a) Bases del conocimiento farmacogenómico; b) Técnicas de análisis e investigación; c) Farmacogenómica clínica; d) Farmacogenómica y enfermedades raras-medicamentos huérfanos; e) Nutrigenómica; f) Radiogenómica, y g) Herramientas para la implementación.

Extensión: a la hora de evaluar las necesidades temporales requeridas para impartirla, se comprueba que los estudiantes de las facultades de medicina dedican 12 ECTS a la asignatura de Anatomía, se vayan a dedicar o no a la Cirugía o a cualquier otra especialidad en las que sea básico el conocimiento de las «entidades anatómicas», en total 931 (huesos, músculos, órganos, vasos, etc.). Por tanto, ¿cuánto tiempo se le debería dedicar al conocimiento de las 23.500 «unidades anatómicas del genoma», es decir, de aquellas responsables de la formación, desarrollo y funcionamiento fisiológico y patológico del ser humano<sup>16,17</sup>. Haciendo un planteamiento reduccionista, si una de las claves de la actuación del F o del médico es la utilización de las terapias farmacológicas, las bases genéticas responsables de su respuesta son al menos 925 genes, por tanto, al menos en cada uno de los 2 grados, Farmacia y Medicina, se le deberían dedicar a la FG al menos 12 ECTS, que dista mucho de los 3-6 ECTS que las FF que la imparten le dedican en la actualidad.

Otros aspectos que se estiman necesarios reflejar para que sirvan de reflexión son: el tema de las enfermedades raras y medicamentos huérfanos y los contenidos prácticos: clínicos, analíticos y experimentales, los másteres, la especialización y la formación continuada en Farmacia Hospitalaria, Atención Primaria y Comunitaria.

Una estrategia de interés en lo referente a la conveniencia de normalizar y promover la incorporación de contenidos en la enseñanza universitaria a nivel nacional es la referida por Lee et al.<sup>18</sup> de constituir un grupo de formador de formadores para crear contenidos, introducirlos, seguirlos, actualizar y evaluar su implementación, que fue desarrollada en 2009 por la Escuela Skaggs de Farmacia y Ciencias Farmacéuticas de la Universidad San Diego de California con

fondos de los Centers of Disease Control and Prevention, desarrollando material educativo basado en la evidencia a través de un programa denominado Pharmacogenomics Education Program (PharmGenEd): Bridging the Gap between Science and Practice<sup>19</sup>, dirigido para clínicos ya licenciados y para estudiantes de profesiones sanitarias. Su objetivo: incrementar la conciencia y el conocimiento sobre la validez, la utilidad y los potenciales beneficios y daños de los test farmacogenéticos. Este currículo se centra en aquellas áreas terapéuticas en las que las pruebas farmacogenéticas pueden aplicarse.

Se considera necesario siguiendo estrategias de innovación, desarrolladas en otros países, la formación de un equipo especialmente entrenado de F hospitalarios con experiencia clínica que permitan el cambio de la situación actual en nuestro país. Formando ya a F hospitalarios, de Atención Primaria y Comunitarios, y a médicos especialistas y de Atención Primaria.

No se encuentra entre los objetivos de este artículo analizar la situación de la enseñanza de la FG y de la Genética en las facultades de Medicina españolas; sí comentar que en PubMed y Google scholar no aparece ninguna referencia sobre el tema, sí referida a otros países, como Estados Unidos, Israel, Inglaterra y países del Sur de Europa en los trabajos de Skirton et al. (2010), Gurwitz et al. (2003 y 2005), Green et al. (2010), Higgs et al. (2008) y Pisanu et al. (2014)<sup>20-26</sup>. En el trabajo de Skirton et al. referido a países europeos y a la genética, se plantea la necesidad de un estándar común mínimo para todos los profesionales sanitarios. Un trabajo que ofrece una panorámica reciente en 2010 y próxima en lo relativo a la FG es el de Green et al.<sup>20</sup>. La conclusión del autor es que «la mayoría de las escuelas de Medicina en USA y Canadá han empezado a incorporar contenidos de FG en el currículum; sin embargo, la extensión de la enseñanza es menor que en las escuelas de Farmacia-USA. Para preparar adecuadamente a los médicos en la práctica en la era de la medicina personalizada, las escuelas de Medicina deberían ser estimuladas para incorporar un mayor contenido en FG en su currículum». Es relevante el artículo de Collins (1999)<sup>13</sup>, director del NIH, «Evitando pérdidas en la revolución genética. La necesidad urgente de educar a los médicos en genética». El autor manifiesta que existe una ausencia de conocimientos debido a que los médicos en ejercicio no han recibido una enseñanza universitaria o profesional como formación continuada en Genética.

El retraso en nuestras facultades no está exento de costes humanos y económicos. Claras consecuencias quedan patentes en el informe sociosanitario sobre Enfermedades raras, ENSERio-2009<sup>27</sup>, en el que se refleja, por ejemplo, que el promedio de la demora diagnóstica en estas patologías es de 5 años y en uno de cada 5 afectados la demora es de 10 o más años. Para una población de entre 787.007-839.648 afectados<sup>28,29</sup>.

En nuestro país, según el trabajo de Antoñanzas Villar<sup>30</sup> en el ámbito de la «no seguridad», en el que más investigaciones se han realizado es el referido a los fármacos<sup>31</sup>. Mediante la aplicación del enfoque arriba-abajo del Sistema Nacional de Salud se estimó, referido a 2011, que habrían habido 240.000 ingresos por efectos adversos de la medicación, lo que significaría unos 912 millones, con un coste unitario de 3.800 euros. No teniendo en cuenta los costes intangibles, como el dolor, la ansiedad de los pacientes

afectados ni las repercusiones en el estado de salud de los pacientes que han presentado las consecuencias de la no seguridad del sistema. Extrapolando los índices del trabajo de Ingelman-Sundberg<sup>16</sup>, la farmacogenética evitaría entre 60.000 y 144.000 de estos ingresos por efectos adversos.

Se puede concluir que mayoritariamente los estudiantes de grado de las FF de nuestro país salen al ejercicio profesional en el siglo XXI con un escaso bagaje científico, experimental-analítico y sociosanitario en unas materias que deberían constituir ya hoy un eje importante de la profesión. Confiamos que este trabajo contribuya no solamente a la reflexión, sino a la toma de decisiones de los actores responsables, y que corrijan con diligencia y efectividad la situación en beneficio de la población de nuestro país, a la que deben servir.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Anexo 1. Contenidos básicos teóricos de la asignatura Farmacogenómica-Farmacogenética FG. Dr. A. Corno, agosto del 2016

- A. Bases del conocimiento farmacogenómico
  - Farmacogenes Fase I
  - Farmacogenes Fase II
  - Farmacogenes Fase III. Genes SLC y ABC
  - Farmacogenes Fase IV. Receptores nucleares
  - Farmacogenes dianas terapéuticas
  - Farmacoepigénica
  - Farmacogenes y efectos adversos
  - Farmacogenómica y estratificación de pacientes
  - Cronofarmacología. Genética molecular de los relojes circadianos
  - Endofenotipos. Estratificación de pacientes. Estandarización términos CTCAE. Criterios comunes. Terminología efectos adversos
- B. Técnicas de análisis e investigación
  - Técnicas analíticas en Farmacogenómica clínica e investigación. Genotipificado, secuenciación, arrays, ADME. Estudios de expresión. Control de calidad. Implementación en laboratorio farmacogenética
  - Algoritmos de selección de fármacos en función de genotipos
- C. Farmacogenómica clínica
  - Farmacogenómica en oncología
  - Farmacogenómica en cardiología
  - Farmacogenómica en psiquiatría
  - Farmacogenómica en diabetes
  - Farmacogenómica en el tratamiento de patologías neurodegenerativas
  - Farmacogenómica en el tratamiento de adicciones al tabaco, alcohol y drogas ilegales
  - Farmacogenómica en tratamiento del dolor
  - Farmacogenómica en dermatología
  - Farmacogenómica en urología
  - Farmacogenómica en neumología-asma, EPOC
  - Farmacogenómica en enfermedades Infecciosas

- Nuevas terapias con base genética: terapia génica, optogenética, fármacos ADN, terapias mitocondriales
- D. Farmacogenómica y enfermedades raras. Medicamentos huérfanos
- E. Nutrigenómica
  - Variabilidad genética y necesidades individuales de nutrientes, micronutrientes y fitonutrientes
  - Nutrigenómica en oncología
  - Nutrigenómica en neurodegeneración
  - Nutrigenómica en diabetes
  - Nutrigenómica en patologías cardiovasculares
- F. Radiogenómica
- G. Herramientas para la implementación
  - La historia familiar en Farmacia: herramienta de prevención y evaluación de riesgos
  - Herramientas estadísticas para el análisis de interacciones: genes-genes, genes-medio ambiente
  - Herramientas bioinformáticas. Bases de datos de utilidad en Farmacogenética clínica. PharmGkb, Drug-Bank, OMIM, Predicción SNP funcionales
  - Grupos internacionales de trabajo sobre Farmacogenética
  - Modelos de implementación en Farmacia Hospitalaria y Comunitaria
  - Información y comunicación. Nuevas tecnologías

## Bibliografía

1. Motulsky AG. Drug reactions enzymes and biochemical genetics. *J Am Med Assoc.* 1957;165:835-7.
2. Vogel F. Moderne Probleme Der Humangenetik. *Ergeb Inn Med Kinderheilkd.* 1959;12:52-125.
3. Collins FS, Varmus H. A new initiative on precision medicine. *N Engl J Med.* 2015;372:793-5.
4. Mcdonagh EM, Whirl-Carrillo M, Garten Y, Klein TE. From pharmacogenomic knowledge acquisition to clinical applications: The PharmGKB as a clinical pharmacogenomic biomarker resource Special Report. *Biomark Med.* 2011;795-806.
5. Imming P, Sinning C, Meyer A. Drugs, their target s and the nature and number of drug targets. *Nat Rev Drug Discov.* 2006;5:821-34.
6. Wilffert B, Swen J, Mulder H, Touw D, Maitland-van der Zee AH, Deneer V, KNMP working group Pharmacogenetics. From evidence based medicine to mechanism based medicine. Reviewing the role of pharmacogenetics. *Int J Clin Pharm.* 2013;35:369-75, <http://dx.doi.org/10.1007/s11096-010-9446-1>
7. Owusu-Obeng A, Weitzel KW, Hatton RC, Staley BJ, Ashton J, Cooper-Dehoff RM, et al. Emerging roles for pharmacists in clinical implementation of pharmacogenomics. *Pharmacotherapy.* 2014;34:1102-12, <http://dx.doi.org/10.1002/phar.1481>
8. Johnson JA, Lyle Bootman J, Evans WE, Hudson RA, Simmons L, Straubinger RM, et al. Pharmacogenomics: A scientific revolution in pharmaceutical sciences and pharmacy practice. Report of the 2001-2002 Academic Affairs Committee. *Am J Pharm Educ.* 2002;66:125-55.
9. ANECA. Libro blanco, título de grado en Farmacia. Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación, 2005, 256. doi:M-20032-2004.
10. OMS. Control de las enfermedades hereditarias. Serie Informes Tecnicos N.º 865, 1996.
11. WHO Regional Publications European Series No 38. 1991. Community Genetics Services in Europe. Report a survey.
12. Evans WE, Relling MV. Pharmacogenomics: Translating functional genomics into rational therapeutics. *Science.* 2009;487, <http://dx.doi.org/10.1126/science.286.5439.487>
13. Collins FS. Avoiding casualties in the Genetic revolution. The urgent need to educate physicians about genetics. *Acad Med.* 1999;74:48-9.
14. Latif DA, Mckay AB. Pharmacogenetics and Pharmacogenomics Instruction in Colleges and Schools of Pharmacy in the United States. *AJPE.* 2005;69:152-6.
15. Murphy JE, Green JS, Adams LA, Squire RB, Kuo GM, Mckay A. Pharmacogenomics in the curricula of Colleges and Schools of Pharmacy in the United States. *Am J Pharm Educ.* 2010;74 [article 7].
16. Ingelman-Sundberg M. Pharmacogenetics: An opportunity for a safer and more efficient pharmacotherapy. *J Intern Med.* 2001;250:186-200, <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2796.2001.00879.x>
17. Lunshof JE, Gurwitz D. Pharmacogenomic testing: Knowing more, doing better. *Clin Pharmacol Ther.* 2012;91:387-9.
18. Lee KC, Ma JD, Hudmon KS, Kuo GM. A train-the-trainer approach to a shared pharmacogenomics curriculum for US Colleges and Schools of Pharmacy. *AJPE.* 2012;76:1-8, <http://dx.doi.org/10.5688/ajpe7610193>
19. Kuo GM, Ma JD, Lee KC, Halpert JR, Bourne FE, Ganiats TG, et al. Institutional Profile: University of California San Diego Pharmacogenomics Education Program (PharmGenEd™): Bridging the gap between science and practice. *Pharmacogenomics.* 2011;12:149-53.
20. Green JS, O'Brien TJ, Chiappinelli VA, Harralson AF. Pharmacogenomics Instruction in US and Canadian Medical Schools: Implications for personalized medicine. *Pharmacogenomics.* 2010;11:1331-40, <http://dx.doi.org/10.2217/pgs.10.122>
21. Gurwitz D, Lunshof JE, Dedoussis G. Pharmacogenomics education: International Society of Pharmacogenomics recommendations for medical, pharmaceutical, and health schools deans of education. *Pharmacogenomics J.* 2005;221-5, <http://dx.doi.org/10.1038/sj.tpj.6500312>
22. Gurwitz D. Pharmacogenetics education: 10 years of experience at Tel Aviv University. *Pharmacogenomics.* 2010;11:647-9, <http://dx.doi.org/10.2217/pgs.10.30>
23. Gurwitz D, Weizman A, Rehavi M. Education: Teaching Pharmacogenomics to prepare future physicians and researchers for personalized medicine. *Trends Pharmacol Sci.* 2003;24:122-5, [http://dx.doi.org/10.1016/S0165-6147\(03\)00024-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0165-6147(03)00024-5)
24. Higgs JE, Andrews J, Gurwitz D, Payne K, Newman W. Pharmacogenetics education in British Medical Schools. *Genomic Medicine.* 2008;2(3-4):101-5, <http://dx.doi.org/10.1007/s11568-009-9032-6>
25. Pisanu C, Tsermpini EE, Mavroidi E, Katsila T, Patrinos GP, Squassina A. Assessment of the pharmacogenomics educational environment in Southeast Europe. *Public Health Genomics.* 2014;272-9, <http://dx.doi.org/10.1159/000366461>
26. Skirton H, Lewis C, Kent A, Coviello DA, Members of Eurogentest Unit 6 and ESHG Education Committee. Genetic education and the challenge of Genomic Medicine: Development of core competences to support preparation of health professionals in Europe. *Eur J Hum Genet.* 2010;18:972-7.
27. Velázquez, Huete García A, Díaz E. Enfermedades raras. Madrid: Federación Española de Enfermedades Raras; 2011. p. 213.
28. Enterprise and Industry Directorate-General. 2009. "A Guideline on Summary of Product Characteristics"

- 2 (September 2009): 7. Directiva 2001/83/EC Unión Europea. doi:10.1093/rpd/ncr264.
29. Falk E, Caneva L, Papaluca M, Braf V. European Medicines Agency initiatives and perspectives on pharmacogenomics. *Br J Clin Pharmacol.* 2014;77:612–7, <http://dx.doi.org/10.1111/bcp.12319>.
30. Antoñanzas Villar F. Non safety costs in the Spanish Health Care System. *Rev Esp Salud Pública.* 2013;87:283–92, <http://dx.doi.org/10.4321/S1135-57272013000300008>
31. Ministerio de Sanidad. Revisión bibliográfica sobre trabajos de costes de la «no seguridad del paciente», 2008. p. 138. Disponible en: <http://www.060.es>