

# Estructura molecular y desarrollo del pelo

## Hair's molecular structure and development

Daniela Araucaria Guzmán Sánchez\*, Noé Alfaro Alfaro\*\*, Cecilia Sandoval-Tress\*\*\*

\*Dermatóloga, posgrado en la Wake Forest University, Carolina del Norte, EUA, miembro del Comité de Investigación del Hospital México-Americano, dermatología, posgrado en enfermedades del pelo y cosmética.

\*\*Doctor en epidemiología y profesor investigador titular C del Instituto Regional de Investigación en Salud Pública, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México, dermatología, posgrado en dermatología pediátrica.

\*\*\*Dermatóloga, Hospital General de Zona 42, Instituto Mexicano del Seguro Social, Puerto Vallarta, Jalisco, México.

### RESUMEN

El objetivo del presente artículo es revisar la anatomía, histología, embriología, crecimiento y desarrollo del pelo. Asimismo analizamos aspectos básicos de biología molecular y los mecanismos moleculares que regulan la morfogénesis de éste. En la actualidad es necesario conocer a fondo su estructura anatómica y molecular con el fin de crear nuevos tratamientos para las alopecias, que son un problema que afecta a gran parte de la población mundial.

**PALABRAS CLAVE:** *Folículo piloso, pelo, morfogénesis*

### ABSTRACT

The aim of the present article is to review the hair's anatomy, histology, embryology, growth, and development. Also, we discuss molecular biology basic aspects and the molecular mechanisms regulating the hair's morphogenesis and development. Currently, it is necessary to know about the hair's anatomy and molecular structure in order to design new treatments for alopecias. Hair loss affects most of the world population.

**KEYWORDS:** *Hair follicle, hair, morphogenesis*

### Introducción

El pelo es un anexo cutáneo que forma parte de la imagen, identidad y origen étnico de cada persona. La papila foliular, el bulbo y el tallo son las principales estructuras de éste, las cuales a su vez poseen varias capas.<sup>1</sup>

En la bibliografía se mencionan con frecuencia los términos folículo piloso, pelo, vello y cabello, que se usan como sinónimos. Las enfermedades que ocasionan la pérdida de pelo (alopecia) afectan de manera muy grave el estado de salud emocional y físico de los pacientes.

Existen alopecias cicatriciales y no cicatriciales.<sup>1</sup> Para comprender la etiología y fisiopatología, y desarrollar así nuevos tratamientos 100% eficaces para estos trastornos, es necesario conocer a fondo la estructura molecular y el desarrollo del pelo.

### Anatomía e histología

El folículo piloso (FP) está formado por múltiples estructuras. Tiene un segmento inferior y uno superior, ambos dentro de la piel (epidermis y dermis) (figura 1).

El segmento inferior tiene dos secciones, bulbo y tallo. El bulbo se extiende desde la base de la papila foliular, también llamada papila dérmica, hasta el área conocida como franja de Adamson (donde termina la zona queratogénica del pelo); el tallo abarca desde la franja de Adamson hasta el sitio de inserción del músculo erector del pelo (figura 1).<sup>2</sup> En el interior del bulbo se encuentra la papila foliular, y en ella, células madre, melanocitos, melanosomas, y capilares arteriales y venosos que nutren al pelo.

El segmento superior se divide en dos porciones: istmo e infundíbulo. El primero, se extiende desde el sitio de inserción del músculo erector del pelo hasta la glándula sebácea; y el infundíbulo, desde la glándula sebácea hasta donde emerge el pelo propiamente dicho a la superficie de la piel (figura 1).<sup>2</sup>

Las capas que cubren al bulbo y al tallo desde su interior hacia el exterior son el tallo (que lo forman las células medulares), corteza del tallo, cutícula del tallo y vaina radicular interna (VRI), que a su vez consta de tres capas:

### CORRESPONDENCIA

Doctora Daniela Araucaria Guzmán-Sánchez ■ danags@gmail.com.

Pablo Neruda 2520, colonia Providencia, 44630, Guadalajara, Jalisco, México. Teléfonos: Oficina: 01 52 33 36415921.

Fax: 01 52 33 36420816

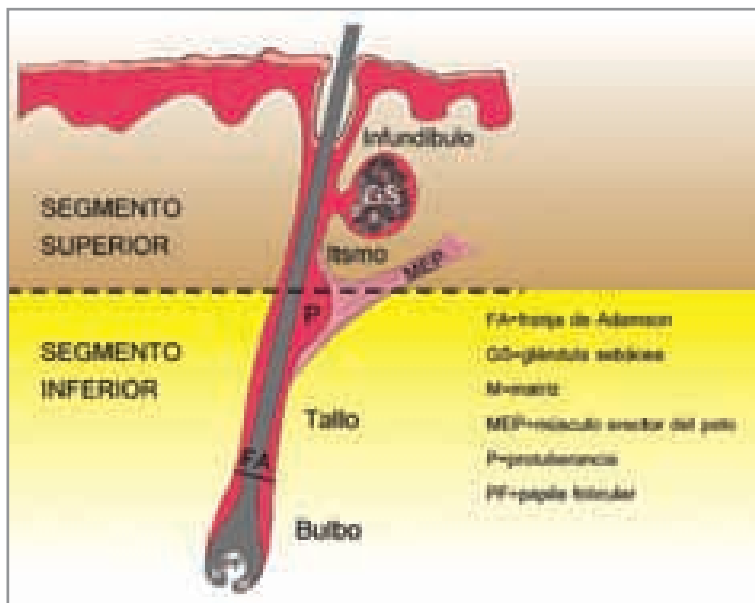


Figura 1. División del folículo piloso.

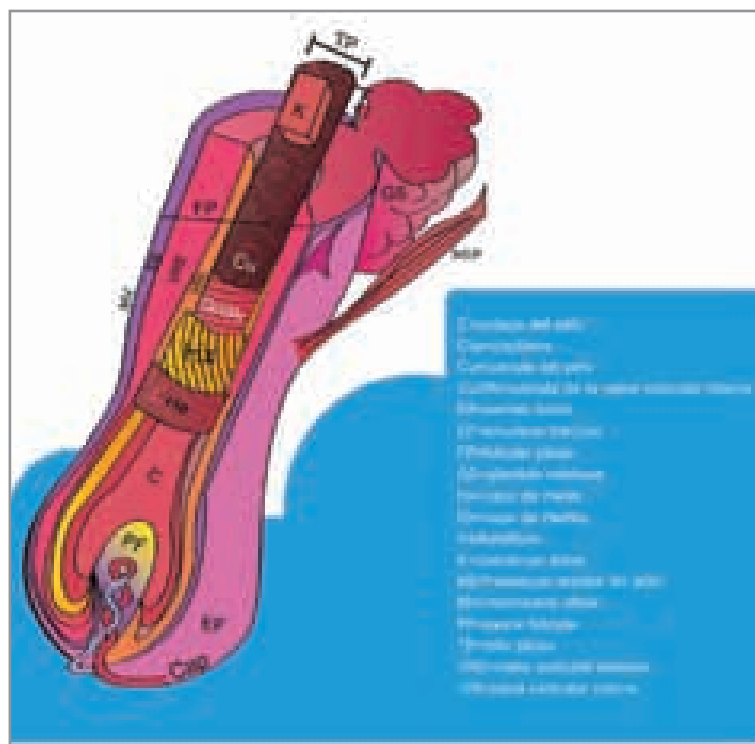


Figura 2. Folículo piloso terminal humano en anágeno VI.

cutícula de la VRI, capa de Henle y capa de Huxley. La siguiente capa que recubre a la anterior es la vaina radicular externa (VRE), a la cual sigue el estrato basal (que corresponde a la invaginación de epidermis) y por último la membrana vítrea (figura 2).

Tanto el bulbo como el tallo están rodeados por las capas que mencionamos; sin embargo, el tallo no tiene capilares.<sup>2</sup>

Las células más importantes del pelo son melanocitos, queratinocitos y células madre. Los melanocitos se encuentran en la papila folicular, matriz del pelo y VRE. Los queratinocitos se encuentran en la capa más externa del pelo (estrato basal). Aquí también se encuentran células madre que producen queratinocitos y melanocitos, así como en la papila folicular.<sup>3</sup>

La papila folicular produce células que se diferencian hasta transformarse en el tallo piloso, el cual crece progresivamente y forma el pelo terminal.<sup>4,5,6,7,8</sup>

El diámetro del tallo piloso mide entre 50 y 120 µm. En las personas de ascendencia asiática es más grueso, y en las caucásicas, más delgado. La longitud del pelo va de 1 mm a 50 cm.<sup>1</sup>

### Embriología

El pelo deriva del ectodermo, y el músculo erector del pelo, del mesodermo.<sup>9</sup>

En la piel del feto, la morfogénesis del FP comienza a partir de un capullo en la epidermis, justo por arriba de una condensación de mesénquima que rápidamente progresa a la generación de la unidad pilosebácea madura y multicilíndrica (figura 3).<sup>10</sup>

Específicamente, antes de cualquier cambio morfológico detectable, se desarrolla un campo morfogénico en la epidermis, quizá resultado de un patrón de gradientes de elementos de señalización (moléculas de adhesión, factores de transcripción, etcétera.) establecido en forma progresiva. Estos gradientes funcionan como activadores o inhibidores del desarrollo del FP. Lo anterior permite la formación de una placoda de queratinocitos. Después, esta placoda no se invagina hacia la dermis, sino que este acúmulo de células crece hacia abajo (dermis) como una columna celular sólida (figura 3).<sup>10</sup>

### Crecimiento y desarrollo

Las fases del crecimiento cíclico del pelo terminal son anágeno (fase de crecimiento), catágeno (fase de involución o regresión) y telógeno (fase de reposo). Cada fase

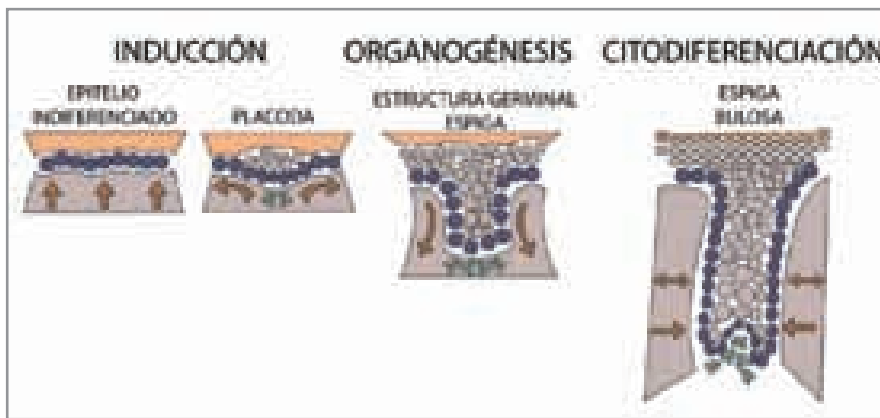


Figura 3. Morfogénesis del folículo piloso.

dura de dos a seis años, dos a tres semanas y tres meses, respectivamente.<sup>1</sup>

Durante la fase de anágeno, los folículos producen un tallo piloso desde la punta hasta la raíz; durante las fases de catágeno y telógeno, los folículos se reinician y preparan a sus células madre de manera que reciban la señal para iniciar la siguiente fase de crecimiento y producir un nuevo tallo piloso.<sup>11</sup>

### Anágeno

Es la fase de crecimiento del tallo piloso. Hay una rápida proliferación en el bulbo y el tallo piloso se distingue de la VRI. La VRI se queratiniza para soportar y guiar al tallo piloso durante su proceso de diferenciación, pero sus células muertas se desintegran al alcanzar el segmento superior del FP, con lo que libera al tallo piloso y continúa su avance a través de la superficie de la piel. La duración del anágeno determina la longitud del tallo piloso y es sensible a quimioterapia. En el anágeno se identifican seis 6 subfases (I-VI).<sup>11</sup>

### Catágeno

Durante esta fase, los folículos pilosos sufren un proceso de involución o regresión, caracterizado por una muerte celular programada (apoptosis) en la mayoría de los queratinocitos foliculares. La melanogénesis folicular cesa y algunos melanocitos foliculares también sufren apoptosis.<sup>12</sup>

Se interrumpe el proceso de diferenciación y se forman los pelos en “maza o clava”. La papila folicular continúa en contacto con el epitelio.<sup>11</sup>

### Telógeno

En esta fase no existe una proliferación significativa, apoptosis o diferenciación.<sup>11</sup>

El porcentaje de folículos en la fase de telógeno varía sobre todo de acuerdo con la región corporal (por ejemplo, de 5 a 15% de los folículos de la piel cabelluda se encuentran en fase de telógeno en un momento dado, comparado con 40 a 50% de los folículos del tronco).<sup>12</sup>

En algunas ocasiones, después de la fase de telógeno se puede presentar la fase de exógeno, que se caracteriza por la pérdida de los pelos en “maza o clava”.<sup>11</sup>

Aunque el ciclo del pelo es en general independiente de ritmos diarios (diurnos) y anuales (circanuales), puede recibir la influencia del ambiente y las hormonas. Si excluimos la simetría bilateral, los pelos se diferencian entre sí según su sitio de localización, sensibilidad a andrógenos, longitud, grosor, forma y color. En su crecimiento no influye la frecuencia del rasurado o corte del pelo. El pelo crece un centímetro cada mes.<sup>13</sup>

### Aspectos básicos de biología molecular<sup>14</sup>

Todos los genes que posee el organismo están en cada una de las células.

1. Durante el curso del desarrollo embrionario los genes se activan o no mediante metilaciones o desmetilaciones.
2. La activación del gen produce proteínas que suelen necesitarse durante la morfogénesis, organogénesis y acciones específicas del organismo para el metabolismo celular.
3. El producto final de un gen es una proteína. Existen dos tipos de proteínas, las constitutivas, que después de producirse se ubican en un lugar específico de la célula y participan activamente en las acciones que mencionamos en el inciso anterior; y las que no tiene un lugar específico en la estructura celular y participan en reacciones químicas como fosforilación y desfosforilación, entre otras.
4. Las proteínas son estructuras constituidas por aminoácidos, en cuyo interior tienen un “dominio”. Este sitio es en donde se adhieren a otras proteínas, lo cual depende de sus cargas eléctricas.
5. El ADN produce ARN mensajero, secuencia de bases púricas y pirimídicas. Tres bases púricas y pirimídicas forman un triplete; a cada triplete se le adhiere un aminoácido específico, y a éste, otro aminoácido, y así sucesivamente hasta formar una proteína.

### Factores moleculares relacionados con morfogénesis y desarrollo del pelo

La formación de los folículos pilosos se produce durante la embriogénesis y es el resultado de un proceso de señalización entre las células dérmicas y las células epiteliales de la superficie suprayacente, lo que determina la diferenciación del tallo piloso, las vainas del pelo y la papila folicular (figura 3).<sup>10</sup>

El desarrollo del FP incluye tres etapas: inducción, organogénesis y citodiferenciación (cuadro 1).<sup>10</sup>

#### Inducción

En esta etapa se presenta la primera señal dérmica, que produce un campo morfogénico en la epidermis para formar la placoda. En este proceso participan genes promotores e inhibidores de la inducción folicular, como miembros de la familia WNT y  $\beta$ -cateninas.

#### Organogénesis

Más adelante, la placoda emite una señal para promover el agrupamiento de células mesenquimales que forman un condensado dérmico. Este grupo de células envía señales al epitelio folicular que inducen la proliferación y la movilización descendente de una columna de células epiteliales dirigidas hacia la dermis (segunda señal dérmica). A esta estructura la rodean células epiteliales foliculares para formar la papila folicular.

#### Citodiferenciación

Por último, se lleva a cabo la diferenciación de la VRI y el tallo piloso, proceso en el que intervienen múltiples proteínas. La VRI está formada por queratinocitos diferenciados (tricocitos) que se agrupan y forman un tubo rígido, el cual da origen al tallo piloso.

En cada etapa intervienen diferentes tipos de proteínas que al final constituyen la citodiferenciación definiti-

**Cuadro 1.** Sucesos en la morfogénesis del folículo piloso.<sup>10</sup>

| INDUCCIÓN  |   | ORGANOGENÉISIS  |   | CITODIFERENCIACIÓN  |
|--|---|---|---|---|
| Epitelio indiferenciado                                  | Placoda   | Estructura germinal   | Espiga  | Espiga bulbosa  |
| Gradientes inhibidores y activadores del campo inductivo | <i>Promoción de la placoda</i><br>WNT10B<br>$\beta$ -catenina<br>Noggin<br>LEF1<br>TGF $\beta$ 2/TGF $\beta$ R11<br>MSX1<br>MSX2<br>FGF/FGFR2<br>EDA/EDAR<br>NF- $\kappa$ B<br>Delta-1<br>Notch1<br>$\beta_1$ -integrina<br>NCAM<br>Folistatina | Señal epitelial<br>WNT<br><br>Formación de la papila folicular<br>PDGF-A<br>SHH | <i>Segunda señal dérmica</i><br>Activina $\beta$ A<br>Folistatina<br>HGF<br>SOX18<br><br>Proliferación del epitelio folicular<br>SHH<br><br>Polaridad del folículo piloso<br>¿WNT?<br>¿SHH?<br><br>Forma del folículo<br>TGF $\alpha$ /EGFR | Diferenciación de la vaina radicular interna<br>CutL1<br><br>Diferenciación del tallo piloso<br>Notch1<br>BMP2<br>BMP4<br>WNT<br>LEF1<br>KGF<br>HOXC13<br>FOXN1<br>MSX1<br>MSX2<br><br>Migración de melanocitos y células hematopoyéticas, inervación y vascularización |
| Primera señal molecular y dérmica                        | <i>Inhibición de la placoda en células vecinas</i><br>BMP2<br>BMP4<br>P75NTR<br>Delta-1<br>Notch 1<br>Activina $\beta$ A  |   |   |   |
| Señaladores de mensaje epitelial                         |   |   |   |   |
| $\beta$ -catenina  |   |   |   |   |
| WNT  |   |   |   |   |

va, a partir de la cual se desarrolla el FP. En el cuadro 1 se esquematizan los factores moleculares relacionados con la morfogénesis del FP.

### Genes que participan en la morfogénesis del folículo piloso:

- La BMP (*bone morphogenetic protein*) es una proteína morfogénica ósea. Desempeña un papel importante en la especificación del tejido óseo y en la morfogénesis del pelo. Pertenece a la familia del TGF $\beta$  (factor de crecimiento de tumor  $\beta$ ).<sup>15</sup>
- El CutL1 (*cut-like 1*) participa en el proceso del ciclo celular y en la matriz celular; se sostiene que también en la morfogénesis del FP.<sup>16</sup>
- El EDA (*ectodysplasin A*), o ectodisplasina A, es un gen humano que contribuye al desarrollo del ectodermo. Los defectos en este gen causan la displasia ectodérmica hipohidrótica, o síndrome de Christ-Siemens-Touraine.<sup>17</sup>
- El EDAR (*ectodysplasin A receptor*), o receptor de la ectodisplasina A, es un gen humano que toma parte en la morfogénesis y el grosor del pelo.<sup>18,19</sup>
- EGFR (*epidermal growth factor receptor*), o receptor del factor de crecimiento epidérmico. Las mutaciones que afectan la expresión o actividad del EGFR pueden dar lugar a cáncer.<sup>20</sup>
- FGF (*fibroblast growth factor*), o factor de crecimiento de fibroblastos. Se trata de una familia de factores de crecimiento que participa en procesos de proliferación y diferenciación celular en angiogénesis, curación de heridas y desarrollo embrionario, piel y anexos.<sup>21</sup>
- FGFR2 (*FGF receptor 2*), o receptor de factor de crecimiento de fibroblastos 2.<sup>22</sup>
- El FOXN1 (*forkhead box N1*) es un factor de transcripción que regula la expresión de genes de queratinas.<sup>23</sup>
- El HGF (*hepatocyte growth factor*), o factor de crecimiento de hepatocitos, regula el crecimiento y motilidad de células epiteliales.<sup>24,25</sup>
- El HOXC13 (*homeobox C13*) pertenece a la familia de los genes homeobox, que participan en la morfogénesis de todos los organismos multicelulares.<sup>26</sup>
- El KGF (*keratinocyte growth factor*), o factor de crecimiento de los queratinocitos, desempeña un papel muy importante en el desarrollo de piel y anexos.<sup>27</sup>
- El LEF1 (*lymphoid enhancer-binding factor-1*), o factor 1 es un gen favorecedor de la unión linfoide.<sup>28</sup>
- El MSX es un gen relacionado con la regulación de la respuesta regenerativa de las células madre.<sup>29</sup>
- La NCAM (*neural cell adhesion molecule*), o molécula de adhesión neural, también llamada CD56, pertenece a

un grupo de moléculas de diferenciación que se expresan en la superficie de los leucocitos asesinos, neuronas, glia y músculo esquelético.<sup>30</sup>

- El NF $\kappa$ B (*nuclear factor kappa-light-chain-enhancer of activated B cells*), o estimulador del factor nuclear de cadena ligera kappa de las células B, es una proteína que actúa como factor de transcripción. Participa en la respuesta celular a estímulos como estrés, citoquinas, rayos ultravioleta, antígenos, bacterias y virus.<sup>31</sup>
- El PDGF-A (*platelet derived growth factor A*), o factor de crecimiento derivado de plaquetas, regula el crecimiento y la división celular, y participa en la angiogénesis.<sup>32</sup>
- El P75NTR es un factor de crecimiento neural que participa en la morfogénesis de FP.<sup>33</sup>
- La SHH (*sonic hedgehog*) es una proteína de la familia de los hedgehog. Desempeña un papel clave en la regulación de la organogénesis en vertebrados, controla la división celular de las células madre adultas y se le implica en algunos tipos de cáncer.<sup>34</sup>
- El SRY-box 18 (*sex determining region Y*), también conocido como SOX 18, es un gen humano que codifica un miembro de la familia SOX de factores de transcripción implicados en la regulación del desarrollo embrionario y en el destino celular.<sup>35</sup>
- El TGF (*transforming growth factor*), o factor de crecimiento transformador, sirve para describir dos clases de factores de crecimiento de polipéptidos, el FCT $\alpha$  y el FCT $\beta$ , que participan en la morfogénesis del FP.
- El TGF $\beta$ R2 (*TGF $\beta$ receptor II*), o receptor del factor de crecimiento de tumor  $\beta$ II, es un gen supresor de tumores que codifica a un miembro de la familia de cinasas serina/treonina y de la subfamilia del receptor de TGF $\beta$ . Las mutaciones en este gen se asocian al síndrome de Marfan, al síndrome de Osler-Weber-Rendu y al síndrome del aneurisma aórtico de Loeys-Deitz, así como al desarrollo de varios tipos de tumores.<sup>36</sup>
- El WNT (*wingless-type integration site family*) es un gen de integración tipo sin alas. La vía de señalización WNT describe una red de proteínas conocidas por su papel en la embriogénesis, desarrollo del pelo y el cáncer, pero también está implicada en procesos fisiológicos normales en animales adultos.<sup>37,38</sup>

### Comentarios y conclusiones

Existe en todo el mundo una controversia en relación con la nomenclatura del pelo propiamente dicho y de las diferentes partes que lo forman.

Es necesario conocer a fondo su estructura anatómica y molecular con el fin de crear nuevos tratamientos para

las alopecias, las cuales son un problema que afecta a gran parte de la población mundial.

La biología molecular debe considerarse la base para el conocimiento integral de cualquier rama de la medicina.

## Agradecimiento

Agradezco de manera especial al doctor Arnoldo Guzmán-Sánchez por su ayuda en este trabajo.

## REFERENCIAS

- Paus R, Piker S, Sundberg JP. "Biology of hair and nails". En Bologna JL, Jorizzo JL, Rapini RP. *Dermatology textbook*, 2a ed, Londres, Mosby Elsevier, 2008, 965-1073.
- Restrepo R, McKee PH, Calonje E. "Diseases of the hair". En McKee PH, Calonje E, Grantor SR. *Pathology of the skin with clinical correlations*. Vol. 2, 3a ed, Londres, Mosby Elsevier, 2005, 1061-1126.
- Loomis CA, Koss T, Chu D. "Embriología". En Bologna JL, Jorizzo JL, Rapini RP. *Dermatology textbook*. 2a ed, Londres, Mosby Elsevier, 2008, 37-47.
- Jahoda CAB, Horne KA, Olivier RF. "Induction of hair growth by implantation of cultured dermal papilla cells". *Nature* 1984; 311: 560-562.
- Reynolds AJ, Lawrence X, Csehalmi-Friedman PB *et al.* "Trans-gender induction of hair follicles". *Nature* 1999; 402: 33-34.
- Link RE, Paus R, Stenn KS *et al.* "Epithelial growth by rat vibrissae follicles *in vitro* requires mesenchymal contact via native extracellular matrix". *J Invest Dermatol* 1990; 95: 202-207.
- Nowak JA, Polak L, Pasolli HA, Fuchs E. "Hair follicle stem cells are specified and function in early skin morphogenesis". *Cell Stem Cell* 2008; 3(1): 33-43.
- Richardson GD, Bazzi H, Fantauzzo KA, Waters JM, Crawford H, Hynd P *et al.* "KGF and EGF signalling block hair follicle induction and promote interfollicular epidermal fate in developing mouse skin". *Development* 2009; 136(13): 2153-2164.
- Moore KL. *Persaud TVN. The developing human: Clinically oriented embryology*. 7a ed, Filadelfia, Saunders Elsevier, 2003, 485-500.
- Millar SE. "Molecular mechanisms regulating hair follicle development". *J Invest Dermatol* 2002; 118: 216-225.
- Alonso L, Fuchs E. "The hair cycle". *J Cell Sci* 2006; 119: 391-393.
- Paus R, Cotsarelis G. "The biology of hair follicles". *N Engl J Med* 1999; 341: 491-497.
- Stenn KS. "Molecular insight into the hair follicle and its pathology: A review of recent developments". *Int J Dermatol* 2003; 42:40-43.
- Lewin B. *Genes IX*. 1a ed, Sudbury, Massachusetts, Jones and Bartlett, 2008, 1-23, 151-187.
- Suzuki K, Yamaguchi Y, Villacorte M, Mihara K, Akiyama M, Shimizu H *et al.* "Embryonic hair follicle fate change by augmented {beta}-catenin through Shh and Bmp signaling". *Development* 2009; 136: 367-372.
- Ellis T, Gambardella L, Horcher M, Tschanz S, Capol J, Bertram P *et al.* "The transcriptional repressor CDP (Cut1) is essential for epithelial cell differentiation of the lung and the hair follicle". *Genes Dev* 2001; 15: 2307-2319.
- Headon DJ. "Ectodysplasin signaling in cutaneous appendage development: Dose, duration, and diversity". *J Invest Dermatol* 2009; 129(4): 817-819.
- Fujimoto A, Ohashi J, Nishida N, Miyagawa T, Morishita Y, Tsunoda T *et al.* "A replication study confirmed the EDAR gene to be a major contributor to population differentiation regarding head hair thickness in Asia". *Hum Genet* 2008; 124: 179-185.
- Cui CY, Kunisada M, Esibizione D, Douglass EG, Schlessinger D. "Analysis of the temporal requirement for eda in hair and sweat gland development". *J Invest J Invest Dermatol* 2009; 129(4): 984-993.
- Lee TC, Threadgill DW. "Generation and validation of mice carrying a conditional allele of the epidermal growth factor receptor". *Genesis* 2008; 47: 85-92.
- Nishikawa SJ, Osawa M, Yonetani S, Torikai-Nishikawa S, Freter R. "Niche required for inducing quiescent stem cells". *Cold Spring Harb Symp Quant Biol* 2008; 73: 67-71.
- Hayashi T, Cunningham D, Bermingham-McDonogh O. "Loss of Fgfr3 leads to excess hair cell development in the mouse organ of Corti". *Dev Dyn* 2007; 236: 525-533.
- Cai J, Lee J, Kopan R, Ma L. "Genetic interplays between Msx2 and Foxn1 are required for Notch1 expression and hair shaft differentiation". *Dev Biol* 2009; 326: 420-430.
- Sano S, Takeda J, Yoshikawa K, Itami S. "Tissue regeneration: Hair follicle as a model". *J Invest Dermatol Symp Proc* 2001; 6: 43-48.
- Tian T, Fan WX, Dai YQ, Liu LP. "Effect of tacrolimus on the growth cycle of murine hair follicles". *Pubmed* 2007; 29(2): 209-212.
- Potter CS, Peterson RL, Barth JL, Pruett ND, Jacobs DF, Kern MJ *et al.* "Evidence that the satin hair mutant gene Foxq1 is among multiple and functionally diverse regulatory targets for Hoxc13 during hair follicle differentiation". *J Biol Chem* 2006; 281: 29245-29255.
- Jang JH. "Stimulation of human hair growth by the recombinant human keratinocyte growth factor-2 (KGF-2)". *Biotechnol Lett* 2005; 27: 749-752.
- Roel G, Gent YY, Peterson-Maduro J, Verbeek FJ, Destree O. "Lef1 plays a role in patterning the mesoderm and ectoderm in *Xenopus tropicalis*". *Int J Dev Biol* 2009; 53: 81-89.
- Mannini L, Deri P, Gremigni V, Rossi L, Salvetti A, Batistoni R. "Two msh/msx-related genes, Djms1 and Djms2, contribute to the early blastema growth during planarian head regeneration". *Int J Dev Biol* 2008; 5(2): 943-952.
- Ito T, Ito N, Saatoff M, Hashizume H, Fukamizu H, Nickoloff BJ *et al.* "Maintenance of hair follicle immune privilege is linked to prevention of NK cell attack". *J Invest Dermatol* 2008; 128: 1196-1206.
- Hashimoto T, Schlessinger D, Cui CY. "Troy binding to lymphotoxin-alpha activates NF kappa B mediated transcription". *Cell Cycle* 2008; 7(1): 106-111.
- Tomita Y, Akiyama M, Shimizu H. "PDGF isoforms induce and maintain anagen phase of murine hair follicles". *J Dermatol Sci* 2006; 43(2): 105-115.
- Adly MA, Assaf HA, Hussein MR. "Expression pattern of p75 neurotrophin receptor protein in human scalp skin and hair follicles: Hair cycle-dependent expression". *J Am Acad Dermatol* 2009; 60(1): 99-109.
- Lehman JM, Laag E, Michaud EJ, Yoder BK. "An essential role for dermal primary cilia in hair follicle morphogenesis". *J Invest Dermatol* 2009; 129(2): 438-448.
- Downes M, François M, Ferguson C, Parton RG, Koopman P. "Vascular defects in a mouse model of hypotrichosis-lymphedema-telangiectasia syndrome indicate a role for SOX18 in blood vessel maturation". *Hum Mol Genet* 2009; 18(15): 2839-2850.
- Huh S, Lee J, Jung E, Kim SC, Kang JJ, Lee J, Kim YW, Sung YK, Kang HK, Park D. iA cell-based system for screening hair growth-promoting agents". *Arch Dermatol Res* 2009; 301(5): 381-385.
- Plikus MV, Widelitz RB, Maxson R, Chuong CM. iAnalyses of regenerative wave patterns in adult hair follicle populations reveal macro-environmental regulation of stem cell activity". *Int J Dev Biol* 2009; 53(5-6): 857-868.
- Widelitz RB. "WNT signaling in skin organogenesis". *Organogenesis* 2008; 4(2): 123-133.

Conteste correctamente todos los cuestionarios que se publicarán en DCMQ y obtendrá 2 puntos de validez para la recertificación del Consejo Mexicano de Dermatología. Envíe todas sus respuestas juntas antes del 31 de enero del año siguiente a la dirección de la revista: Medipiel Servicios Administrativos, SC; Aniceto Ortega 822 Col. Del Valle, Delegación Benito Juárez, CP 03100, México DF, Tel/Fax 5659-9416, 5575-5171.

Incluya su correo electrónico para recibir la constancia.

## Estructura molecular y desarrollo del pelo

1. ¿En qué segmentos se divide el pelo?
  - a) Superior e inferior
  - b) Derecho e izquierdo
  - c) Superior y medio
2. Las siguientes son secciones del segmento inferior:
  - a) Istmo e infundíbulo
  - b) Cutícula e istmo
  - c) Bulbo y tallo
  - d) Istmo y corteza
  - e) Cutícula y corteza
3. Las siguientes son secciones del segmento superior:
  - a) Istmo e infundíbulo
  - b) Cutícula e istmo
  - c) Bulbo y tallo
  - d) Istmo y corteza
  - e) Cutícula y corteza
4. ¿En cuál de las siguientes estructuras se encuentra la papila folicular o dérmica?
  - a) Corteza
  - b) Istmo
  - c) Tallo
  - d) Bulbo
  - e) Cutícula
5. En la papila folicular o dérmica se encuentran las siguientes células, excepto:
  - a) Células madre
  - b) Adipocitos
  - c) Melanocitos
  - d) Melanosomas
  - e) Queratinocitos
6. Las siguientes son capas que cubren al bulbo y al tallo, excepto:
  - a) Duramadre
  - b) Corteza y cutícula del tallo
  - c) Membrana vítrea
  - d) Vaina radicular interna (VRI)
  - e) Vaina radicular externa (VRE)
7. ¿De cuál de las siguientes capas se deriva el pelo?
  - a) Ectodermo
  - b) Mesodermo
  - c) Endodermo
8. ¿Cuáles son las fases de crecimiento del pelo?
  - a) Anágeno
  - b) Catágeno
  - c) Telógeno
  - d) Anágeno, catágeno y telógeno
  - e) Catágeno y telógeno
9. ¿Cuánto dura la fase de anágeno?
  - a) 2 a 6 años
  - b) 2 a 6 semanas
  - c) 1 a 3 meses
  - d) 3 a 6 meses
  - e) 10 años
10. ¿Cuánto dura la fase de catágeno?
  - a) 2 a 6 años
  - b) 2 a 3 semanas
  - c) 1 a 3 meses
  - d) 3 a 6 meses
  - e) 10 años

11. ¿Cuánto dura la fase de telógeno?
- 2 a 6 años
  - 1 a 3 años
  - 3 semanas
  - 10 años
  - 3 meses
12. Respecto del desarrollo del folículo piloso, ¿en qué etapa se forma la placoda?
- Inducción
  - Organogénesis
  - Citodiferenciación
13. ¿En qué etapa se lleva a cabo la diferenciación del tallo piloso?
- Inducción
  - Organogénesis
  - Citodiferenciación
14. La proteína noggin participa en la etapa de:
- Inducción
  - Organogénesis
  - Citodiferenciación
15. ¿Cuál de las siguientes proteínas participa en las tres etapas de desarrollo?
- Noggin
  - TNF
  - BMP
  - TGF
  - WNT
16. ¿Cuál de los siguientes genes participa en el desarrollo del ectodermo, y cuando está alterado produce la displasia ectodérmica hipohidrótica?
- Noggin
  - TNF
  - EDA (ectodysplasin A), o ectodisplasina A
  - TGF
  - WNT
17. ¿Cuál de los siguientes genes es de integración tipo sin alas, que participa en embriogénesis y desarrollo del pelo, cáncer y procesos fisiológicos de animales?
- BMP
  - TNF
  - WNT
  - EDA
  - KGF
18. ¿Cuál de los siguientes genes desempeña un papel importante en la especificación del tejido óseo y en la morfogénesis del pelo?
- BMP
  - TNF
  - WNT
  - EDA
  - KGF
19. ¿Cuál de los siguientes es un factor de crecimiento de los queratinocitos y desempeña un papel muy importante en el desarrollo de piel y anexos?
- BMP
  - TNF
  - KGF
  - EDA
  - KGF
20. ¿Cuál de las siguientes es una proteína de la familia de los hedgehog y desempeña un papel clave en la regulación de la organogénesis de los vertebrados, controla la división celular de las células madre y se le implica en algunos tipos de cáncer?
- SHH
  - BMP
  - EDA (ectodysplasin A), o ectodisplasina A BMP
  - TGF receptor II
  - Noggin
21. ¿Cuál de los siguientes genes es supresor de tumores que codifica a un miembro de la familia de las cinasas serina/treonina, y sus mutaciones se han asociado a los síndromes de Marfan y de Osler-Weber-Rendu, así como al aneurisma aórtico de Loeys-Deitz?
- Noggin
  - TNF
  - EDA (ectodysplasin A) ectodisplasina A BMP
  - TGF receptor II
  - WNT