

Sangre blanca

*Doscientos años de estudio y
tratamiento de la leucemia*

Héctor Mayani

Sangre blanca

*Doscientos años de estudio y
tratamiento de la leucemia*



Paralelo 21

Sangre blanca

Doscientos años de estudio y tratamiento de la leucemia

Primera edición, 2016

Colección Encuentros

D.R. © Héctor Mayani Viveros, 2016

D.R. © 2016, Editorial Paralelo 21, S.A. de C.V.

Ricardo Palmerín 11, Col. Guadalupe Inn.

C.P. 01020, México, D.F.

www.mexicanisimo.com.mx

ISBN 978-607-7891-24-6

Diseño: Bruno Pérez Chávez

Portada: Rafael Mayani Parás

*A Maite, Dani, Rafa y Fer, porque la sangre y
el amor nos unen maravillosamente.*

*A Nacho, Nelly, Toño y Conchita, porque su cariño, su
apoyo, su presencia y su recuerdo han sido mi energía.*

Todos los Derechos Reservados. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, la fotocopia o la grabación, sin la previa autorización por escrito de los editores.

IMPRESO EN MÉXICO

PRINTED IN MEXICO

AGRADECIMIENTOS

Escribí esta obra con la ayuda de muchas personas que, en distintos momentos y de diferentes maneras, me apoyaron e impulsaron. Quiero agradecer especialmente a:

☞ Paty Piña, por su interés en este escrito y su entusiasmo y compromiso para trabajar en él; por su tiempo y disposición para leer una y otra vez; por su amistad y su lealtad. Kena, Paty Flores, Tony, Ros y Juanjo, por todos estos años de trabajo y convivencia; por crecer junto conmigo y por todo lo que me han enseñado, primero como mis estudiantes y después como colegas. Nachito, Fer, Margarita, Alejandra, Laura, Elizabeth, Lupita, Toño, Mónica, Vero, Elisa, Julia, Ileana, Luis, Angélica, Roberto y Julieta por ser mi gran familia académica. Elsi, por su paciencia y su apoyo incondicional a lo largo de tantos años.

☞ Jaime, Lichi, Víctor y Ale, por todas sus enseñanzas durante aquellos primeros años. Paul, Larry, Anna y Peter, por la extraordinaria y fundamental experiencia a su lado. José Ignacio Santos, Onofre Muñoz y Luis Benítez, por su confianza y su apoyo.

☞ Mis hermanos Paty, Nacho, Nelly, Gina y Gustavo, por estar siempre conmigo. Toda la familia Parás Fernández, una familia maravillosa y fuera de serie. Xitlalli, por sus porras y sus consejos, siempre sabios.

☞ Luis Jorge y Ted, por creer en este proyecto y ayudarme a hacerlo realidad.

PREFACIO

Los científicos dicen que estamos hechos de átomos, pero a mí un pajarito me contó que estamos hechos de historias.

Eduardo Galeano

Si a mí me preguntan, yo creo que tanto los científicos como el pajarito, tienen razón. Indudablemente estamos hechos de átomos, de moléculas y de células, pero también es cierto que estamos hechos de historias. En realidad, somos resultado del arreglo y la interacción de miles de millones de átomos y del entrelazado de numerosas historias. Este libro intenta hablar sobre una historia en particular, la historia de la leucemia. Una historia fascinante, tejida con hilo proveniente de muchas historias. Historias de moléculas y células, de médicos y pacientes, de científicos y experimentos, de individuos e instituciones. Historias de triunfos y derrotas.

Hablar de la leucemia es hablar del tipo de cáncer más común durante la infancia y de uno de los cánceres más comunes en los adultos. Es hablar de una enfermedad que en otros tiempos era mortal y que ahora puede ser diagnosticada y tratada eficazmente, una enfermedad cuyo estudio ha servido para ayudarnos a entender el origen y la progresión de muchos tipos

de tumores y cuyos desarrollos terapéuticos han sido fundamentales en la lucha que la humanidad ha librado contra el cáncer durante los últimos doscientos años.

Escribir acerca de la historia de la leucemia —cómo se descubrió, cómo se fue perfeccionando su tratamiento, cómo fue evolucionando la idea sobre su origen, cómo se descubrieron las células hematopoyéticas y cómo se identificaron los primeros oncogénes— es una idea que me ha atraído desde hace varios años. De hecho, entre 2002 y 2009 expuse varias conferencias sobre este tema en eventos científicos de la Agrupación Mexicana para el Estudio de la Hematología, de la Asociación Mexicana de Anemia Aplásica y de la Asociación Mexicana de Medicina Transfusional. Sin embargo, por diversas razones, no me había dado el tiempo para sentarme a escribir.

A finales de 2010 hice el primer intento. Empecé a recopilar información, a escribir algunas notas y, poco a poco, las ideas fueron tomando forma, de tal suerte que las cuartillas iniciales quedaron listas. Desafortunadamente, las obligaciones profesionales hacían que mi avance fuera extremadamente lento. Así seguí por un tiempo, hasta que las cosas cambiaron a principios de 2012, cuando descubrí el libro de Siddhartha Mukherjee, titulado *El emperador de todos los males. Una biografía del cáncer*. Es un libro extraordinario que describe con elegancia y gran detalle la historia del cáncer. Mientras devoraba sus páginas, me di cuenta de que ese era el tipo de libro que yo quería escribir: un libro que no solo describiera hechos y hazañas, sino que hablara sobre los personajes detrás de los descubrimientos y que presentara el lado humano de los avances científicos.

Así pues, convencido de que escribir un libro sobre la historia de la leucemia era una buena idea, motivado por mi fascinación por este tema e inspirado por el libro de Mukherjee, tomé esta empresa con mayor seriedad y compromiso. Me senté a escribir con devoción, recurriendo a todo tipo de herramientas, incluyendo libros y artículos especializados, monografías y diccionarios, páginas web y hasta Wikipedia. Le dediqué numerosas noches y fines de semana, y en múltiples ocasiones le dediqué las dos primeras horas de la mañana en mi oficina y las dos últimas horas de la tarde, antes de emprender el regreso a casa.

Escribí este libro con mucho entusiasmo e ilusión y ahora que he terminado me siento muy contento. Espero que quienes lo lean, lo encuentren entretenido, interesante y de utilidad. Más aún, espero que esta obra sirva de inspiración para algunos jóvenes estudiantes de preparatoria, licenciatura y posgrado y que influya en ellos de una manera positiva.

Mucho se ha dicho acerca de conocer el pasado para entender el presente y preparar el futuro. Comulgo totalmente con esta idea. De hecho, esta fue una de las razones por las que me animé a escribir esta obra. En ella, he intentado presentar, con la mayor sencillez y claridad posibles, una visión histórica —y evidentemente personal— acerca de la investigación y el tratamiento de la leucemia. He intentado hacer una recopilación de los hechos, anécdotas y acontecimientos más significativos, desde que esta patología fue descrita por primera vez hasta el día de hoy. He buscado que este libro sea un testimonio del papel fundamental que la investigación científica ha jugado en la lucha contra esta enfermedad; de la intrincada —e imprescindible— interacción que ha existido y que debe

seguir existiendo entre médicos y científicos, y de cómo el trabajo, los descubrimientos y las innovaciones de una generación se convierten en el punto de partida de la siguiente.

De antemano pido al lector que me disculpe porque he dedicado las primeras páginas de este libro a hablar sobre mí mismo. La razón es muy simple, y espero que les parezca válida: cada vez que leo un libro me pregunto acerca del autor. ¿Quién es? ¿Qué ha hecho en su vida? ¿Qué lo llevó a escribir lo que escribió? Así que decidí empezar presentándome ante los lectores, hablando un poco sobre mi trayectoria y exponiendo las razones que me llevaron a escribir este libro.

Como se podrán imaginar, son muchísimas las personas que, a lo largo de los últimos doscientos años, han realizado aportaciones significativas en el estudio y el tratamiento de la leucemia. Estoy consciente, sin embargo, de que en una obra como esta no es posible incluir a todas y cada una de ellas. Por lo tanto, y sabiendo que pude haber cometido injusticias, me he concretado a incluir a quienes, desde mi modesto punto de vista, no pueden pasar desapercibidos.

Finalmente, espero que esta obra sirva como un sencillo tributo a todos aquellos médicos, científicos y pacientes que han contribuido a forjar esta maravillosa historia.

Héctor Mayani
Ciudad de México, 2015

DE LA SANGRE DE CONEJOS ANÉMICOS A LA SANGRE DE CORDÓN UMBILICAL

*Like the singing bird and the croaking toad,
I've got a name... Like the north wind whistling
down the sky, I've got a song... Like the fool
I am and I'll always be, I've got a dream...*

Jim Croce

Por extraño que pudiera parecer, cuando ingresé a la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, para iniciar mis estudios de Biología, yo ya tenía tres cosas claras: quería ser investigador, quería trabajar en un laboratorio de biología celular y quería dedicarme al estudio del cáncer. Mi interés en esta enfermedad había nacido unos tres o cuatro años atrás, cuando leí el libro titulado *El cáncer*, que era parte de la colección Grandes Temas de la editorial Salvat. En él, se describía lo que en ese momento se sabía acerca de ese terrible mal: el crecimiento de los tumores, el posible papel de los virus, los factores genéticos y la lucha del sistema inmunológico contra las células cancerosas. Además, el libro describía los diferentes tipos de tratamientos con que se contaba en la década de 1970. Entre muchas otras cosas, me impactaba el hecho de que fuera una patología tan devastadora y que cada vez se volvía más común.

Sin embargo, pronto llegó otro tema que llamó poderosamente mi atención. Durante el primer semestre de la carrera, leí *El río viviente* de Isaac Asimov, un libro extraordinario que habla sobre los distintos componentes de la sangre y la variedad de funciones que lleva a cabo ese tejido tan maravilloso. Casi al mismo tiempo leí otro libro, titulado *Fisiología de las células sanguíneas*, escrito por Albert S. Gordon, en el que se describe la morfología y las funciones de los glóbulos sanguíneos, así como las diversas enfermedades, como la leucemia, que se pueden generar por alteraciones en dichas células. Ambos libros despertaron mi interés por la sangre, así que pensé que al llegar el momento de tomar un tema para mi tesis, me gustaría trabajar en algo relacionado con el cáncer o con la sangre o, mejor aún, con los dos.

Justo al finalizar el tercer semestre de la carrera, la maestra de bioquímica, Luisa Alba, nos invitó a mi gran amiga Nora, a mi novia Maite y a mí a incorporarnos al Laboratorio de Biología Molecular de la misma facultad. Sin pensarlo dos veces los tres aceptamos de inmediato, cada uno, seguramente, por motivos muy particulares. En mi caso, fueron dos las razones que me llevaron a aceptar la invitación: por un lado, yo ya estaba ansioso por comenzar a trabajar en un laboratorio “de verdad” y, por el otro, la línea de investigación de ese grupo era el metabolismo del hierro y su papel en la producción de la sangre en conejos. Al entrar a ese laboratorio empecé mi viaje por el maravilloso mundo de la investigación científica.

Bajo la dirección del Dr. Jaime Martínez Medellín, jefe del laboratorio, y el apoyo de los demás miembros, realicé no solo la tesis de licenciatura, sino también la de maestría.

Mi investigación estuvo enfocada en estudiar la producción de los glóbulos rojos en conejos, tanto en condiciones normales como de anemia.¹ Admito que sufría cada vez que tenía que sangrar a los pobres animalitos directamente del corazón, y más todavía cuando tenía que sacrificarlos para extraer la médula ósea de sus huesos. Sin embargo, disfrutaba muchísimo cuando realizaba mis experimentos, cuando analizaba los datos y graficaba mis resultados. Durante los cinco años que estuve ahí, no solo cumplí mis objetivos académicos, sino que acabé enamorándome de la hematopoyesis (nombre que se le da al proceso de producción de las células de la sangre). Así que decidí continuar en ese campo de investigación.

A finales de 1986 obtuve una beca de la Fundación Britannica Society para realizar una estancia de investigación en Gran Bretaña. Unos meses después, a principios de febrero de 1987, viajé hacia Cardiff, la capital de Gales, para incorporarme al Departamento de Hematología del Colegio de Medicina de la Universidad de Gales. El jefe del Departamento, el profesor Allan Jacobs, me asignó al grupo del Dr. Paul Baines, quien me enseñó el “abc” de la separación celular y del cultivo de células hematopoyéticas. Después de un mes de capacitación, Paul me encomendó la tarea de estudiar el efecto de una proteína, cuyas siglas son GM-CSF, sobre el crecimiento de las células progenitoras hematopoyéticas humanas.

El proyecto, sin embargo, tenía una peculiaridad, pues las células que yo iba a estudiar provenían de la médula ósea de pacientes con una enfermedad —de la que en ese entonces yo conocía muy poco— llamada Síndrome Mielodisplásico o “preleucemia”. Este proyecto me entusiasmaba por muchas

razones, pero sobre todo, porque estudiar la preleucemia me acercaba al estudio del cáncer. Era mi oportunidad de conjuntar los dos temas que desde hacía algunos años me habían interesado sobre todos los demás: la sangre y el cáncer.

Mi experiencia en Cardiff fue maravillosa. Aprendí muchas metodologías en el laboratorio, leí muchísimos artículos, conocí a mucha gente involucrada en la investigación médica, presenté los resultados de mi estudio en un congreso internacional, publiqué mis primeros artículos² y tuve la oportunidad de asistir a un congreso en el Instituto Pasteur, en París, Francia, en el que conocí en persona a varios de mis “ídolos” académicos, como Donald Metcalf, Michael Dexter y Hal Broxmeyer.

Sin embargo, la experiencia que más me impactó, sin lugar a dudas, fue haber estado en contacto muy cercano con los pacientes que sufrían de ese extraño síndrome y con los médicos hematólogos que los atendían. Con el objetivo de obtener las muestras biológicas para mis estudios, yo tenía que acompañar a las salas clínicas a Chris Lush y David Bowen, dos de los hematólogos de la clínica de preleucemia, y tenía que presenciar el momento en que ellos extraían muestras de la médula ósea de los pacientes. Muchas de las personas que asistían a la clínica para ser tratadas eran de edad avanzada. Algunas llevaban ropas lujosas; otras atuendos muy sencillos. Algunas tenían un nerviosismo a flor de piel; otras una calma aparente. Sin embargo, en todos ellos podía verse sufrimiento, pues sabían que algo en ellos no estaba bien. De todos ellos, recuerdo especialmente a un anciano de más de ochenta años, quien con mucha calma y resignación seguía todas las indicaciones de los doctores sin decir una sola palabra. También

recuerdo a una mujer que derramaba angustia porque unos conocidos le habían dicho que probablemente tenía leucemia. David trató de tranquilizarla diciéndole que no había seguridad en ello pero que, aunque así fuera, él haría todo lo posible para que la enfermedad, fuese cual fuese, desapareciera. Aunque en ese momento los pacientes no lo sabían, algunos de ellos estaban en la antesala de la leucemia y otros vivirían solo unos cuantos meses más.

Al terminar mi año en Cardiff, volé a Edmonton, Canadá, para iniciar el doctorado en la Facultad de Medicina de la Universidad de Alberta, bajo la dirección de Anna Janowska-Wieczorek y Larry J. Guilbert. Ahí tuve mi primer contacto directo con la leucemia. Mi proyecto consistió en estudiar las células de la médula ósea de pacientes con leucemia mieloide aguda,³ una variante muy agresiva de esta enfermedad. Algunas de las metodologías que tenía que emplear eran las mismas que había aprendido con Paul, otras eran muy distintas y, de hecho, más sofisticadas. El ambiente de trabajo en Edmonton era distinto al que había vivido en Cardiff, las instalaciones eran más modernas y se respiraba un aire de mayor interacción académica.

El médico hematólogo encargado de atender a los pacientes con leucemia era Andy Belch, no tan joven como Chris y David, pero muy agradable y con mucha experiencia. Andy no me exigía que lo acompañara cuando atendía a sus pacientes, pero en varias ocasiones, por disciplina y por considerarlo formativo, le pedí que me permitiera estar presente. Todas las muestras que yo recibía estaban contenidas en tubos bien cerrados y etiquetados en los que se indicaba, entre otras cosas, el nombre, el sexo y la fecha de nacimiento del paciente. En una ocasión

la muestra que recibí era abundante y muy pálida, indudablemente más pálida que las que había recibido anteriormente. Tenía un aspecto lechoso, lo que llamó poderosamente mi atención. Ese hecho era bueno para mis estudios, pues indicaba que tendría un número muy elevado de células para realizar mis experimentos. Al mismo tiempo, sin embargo, me decía que el paciente estaba en muy malas condiciones, que estaba “muy leucémico”. Al anotar la fecha de nacimiento del paciente, me di cuenta que se trataba de un niño de ¡siete meses de edad! No lo podía creer. Me puse a pensar cómo se sentirían los papás de aquel bebé. Su sufrimiento debía ser indescriptible.

Unos días después visité a Andy en su oficina para cotejar algunos de los datos clínicos de los pacientes. Al entrar, lo vi con el semblante muy triste. Me informó que el bebé con leucemia acababa de morir, y luego, viendo hacia la ventana, me dijo: “A pesar de los años y la experiencia, a veces me siento enfurecido por la impotencia de no poder ayudar a esta gente. Sabemos mucho de la leucemia, pero no lo suficiente. El camino es todavía muy largo”. Me dio unas palmadas en el hombro y empezamos a trabajar.

Después de cuatro años en Edmonton terminé el doctorado e inmediatamente inicié el posdoctorado, incorporándome al grupo del Dr. Peter Lansdorp, en el Laboratorio Terry Fox del Centro de Investigación en Cáncer de Columbia Británica, en Vancouver. Esta vez mi proyecto no tenía que ver, al menos no directamente, con alguna enfermedad hematológica. Se trataba de purificar y estudiar a las células troncales (también llamadas células madre) de la sangre de cordón umbilical. Desde el punto de vista biológico, el proyecto era apasionante, pues se trataba

de un estudio muy completo en el que aprendería nuevas técnicas experimentales para caracterizar a las células responsables de producir a todas las células de la sangre.⁴

Sin embargo, algo que me entusiasmaba particularmente era el hecho de que estas células podían representar una alternativa para el tratamiento (y, por qué no, la cura) de pacientes con diversas enfermedades de la sangre, incluida la leucemia. En efecto, solo tres años antes, Broxmeyer y Gluckman habían demostrado que las células troncales de la sangre de cordón umbilical podían ser empleadas para trasplantar a pacientes con enfermedades del sistema productor de la sangre. A través de mi proyecto, yo también quería contribuir al avance en el conocimiento de esas células y al desarrollo de nuevas terapias.

Los dos años y medio que estuve en ese laboratorio fueron extraordinarios. A pesar de la invitación de Peter y de Allen Eaves, director del Laboratorio Terry Fox, para seguir en Vancouver, en 1994 acepté el ofrecimiento del Dr. Onofre Muñoz Hernández, en ese entonces coordinador de Investigación Médica del IMSS, para regresar a México e incorporarme como investigador a la Unidad de Investigación Médica en Enfermedades Oncológicas del Centro Médico Nacional Siglo XXI, dirigida por el Dr. Luis Benítez Bribiesca. Ahora, el nuevo reto era poner en práctica, en mi propio país, todo lo aprendido en Gran Bretaña y Canadá.

En México he tenido la fortuna de trabajar en una de las instituciones médicas más importantes de Latinoamérica, que da servicio a la mitad de la población del país. A diario interactúo con colegas científicos y con médicos hematólogos y oncólogos, de los cuales he aprendido mucho. A principios

del año 2000 fui nombrado jefe de la Unidad de Investigación Médica en Enfermedades Oncológicas y desde entonces ha sido muy gratificante estar rodeado por investigadores entusiastas, algunos con muchos años de experiencia y otros mucho más jóvenes, enfocados al estudio del cáncer, tanto a nivel biológico como clínico. A lo largo de estos años hemos consolidado un grupo de investigación importante en el que la leucemia y las células troncales de la sangre de cordón umbilical constituyen dos de las principales líneas de estudio.⁵

Desde que ingresé al Laboratorio de Biología Molecular de la Facultad de Ciencias de la UNAM hasta el día de hoy, han transcurrido treinta y cinco años, a lo largo de los cuales he aprendido mucho acerca de las células de la sangre, de su origen, de su función y de sus enfermedades. También he aprendido mucho acerca del cáncer, tanto de la leucemia como de tumores sólidos, de su biología y su tratamiento.

Más allá de todo ese conocimiento, hay tres lecciones que los años y la experiencia me han brindado, tres lecciones muy importantes que me han ayudado a lo largo de mi carrera.

La primera de ellas se refiere al valor de la ciencia en la generación de conocimiento para poder enfrentar la lucha contra las enfermedades, es decir, que la única forma de entender una enfermedad y combatirla es a través de la investigación científica, definitivamente no hay otra manera. En 1900, la esperanza de vida promedio en el mundo era de aproximadamente treinta años. Hoy, la gente vive, en promedio, más de sesenta años. Este gran cambio se ha debido, principalmente, a los avances en la medicina. La aparición de los antibióticos, de las vacunas y de programas de higiene y salud pública han impactado

favorablemente en las condiciones de vida de la humanidad. Y, evidentemente, todos estos tratamientos y medidas, al igual que otros, como la quimioterapia y los trasplantes, por nombrar solo algunos ejemplos, son fruto de la investigación.

La segunda gran lección es que el estudio de una enfermedad debe ser integral, esto es, hay que ir de los síntomas que presenta el paciente a la molécula afectada o al gen alterado y luego hay que ir en el sentido opuesto, así, cuantas veces sea necesario. Para ello, médicos y científicos deben trabajar juntos, interactuando, colaborando, compartiendo, aprendiendo y enseñando. A veces pareciera que los médicos y los científicos “básicos” hablamos lenguajes distintos, que no nos entendemos. Es fundamental que comprendamos que tanto la biomedicina como la clínica son parte de un mismo universo: el universo de la investigación médica.

Finalmente, la tercera gran lección es que todo lo que sabemos acerca de una enfermedad, de su origen y desarrollo, de su diagnóstico y tratamiento, es resultado del trabajo de muchas personas —algunas muy conocidas, otras no tanto— que dedicaron su vida a tratar de entenderla y a buscar tratamientos para ella. Lo que sabemos hoy sobre cualquier padecimiento (pensemos en la diabetes, la hipertensión, la enfermedad de Parkinson, el SIDA o el cáncer) es fruto del trabajo de mucha gente a lo largo de los años.

Los que hoy nos dedicamos a la investigación científica estamos parados sobre los cimientos que construyeron los científicos que nos precedieron. Sin embargo, con mucha frecuencia lo olvidamos. Nos sumergimos en nuestro mundo —enorme desde nuestro punto de vista, pero finalmente

pequeño— y no reparamos en el trabajo titánico y magistral de hombres y mujeres que vivieron hace veinte, cincuenta o cien años, y que desarrollaron los fundamentos sobre los que descansan nuestras hipótesis y teorías, hombres y mujeres que trabajaron con herramientas mucho más rudimentarias que las actuales, pero cuya inteligencia y dedicación les permitieron hacer descubrimientos e innovaciones que cambiaron nuestro conocimiento.

La sociedad, en general, tiende a olvidar que, aunque la ciencia —en particular la medicina— avanza a pasos agigantados, siempre habrá enfermedades por resolver, enfermedades para las que, en un momento determinado, no hay cura. Con frecuencia, la gente no se percata que detrás de una pastilla o una inyección hay muchos años de investigación, de trabajo, de ensayo y error, de lucha, de triunfos y de derrotas.

El estudio de la leucemia es, sin lugar a dudas, uno de los mejores ejemplos de cómo la ciencia ha ido ganando terreno en la cruenta lucha contra la enfermedad. Hace cincuenta años, el término leucemia era visto como sinónimo de una muerte a corto plazo. Hoy en día, los pacientes leucémicos viven más y mejor, y una gran proporción de ellos vive lo suficiente como para morir de alguna otra causa ajena a la leucemia. A lo largo de los años se le han ganado muchas batallas al cáncer de la sangre, pero todavía no se ha ganado la guerra. El camino frente a nosotros sigue siendo muy largo y complicado. Sin embargo, es innegable que los avances alcanzados hasta ahora han sido extraordinarios. Soy optimista y estoy convencido de que la investigación sobre la leucemia tiene, delante de sí, un futuro fascinante y prometedor.

SANGRE BLANCA

He sido un hombre que busca y aún lo sigo siendo, pero ya no busco en las estrellas y en los libros, sino en las enseñanzas de mi sangre.

Hermann Hesse

Emocionante y controvertido, el siglo XIX se caracterizó por fuertes cambios en todos los ámbitos del quehacer humano. Verdaderas revoluciones ocurrieron a nivel político, social, filosófico, artístico y científico. Sin lugar a dudas fue un siglo fascinante.

Dos revoluciones industriales tuvieron lugar, marcando el rumbo de la economía mundial. La primera había iniciado en la segunda mitad del siglo XVIII persistiendo hasta 1840, mientras que la segunda inició en 1880 y finalizaría a principios del siglo XX. La política se vio marcada por las revoluciones burguesas, difundidas en todo el mundo a través del imperialismo. Movimientos obreros surgieron y crecieron en diversas sociedades y el sufragio universal fue instituido en muchos países, ya fuera por consenso o a través de luchas sociales.

En muchos sentidos, los cambios ocurridos fueron promovidos por diversos eventos sucedidos en el siglo anterior. Así,

☛ ÍNDICE

Prefacio	11
De la sangre de conejos anémicos a la sangre de cordón umbilical	15
Sangre blanca	25
Rayos y venenos	41
Nuevas moléculas y nuevos esquemas	69
Un nuevo miembro en el arsenal	81
Proteínas reguladoras	97
Del poliblasto a la célula troncal	117
Nuevas fuentes celulares	141
De virus, gallinas y ratones	157
Un cromosoma diminuto, pero un hallazgo gigantesco	165
La respuesta está en los genes	177
¡Por fin, la bala mágica!	191
La era genómica	211
Si pudimos poner a un hombre en la luna...	229
Epílogo	237
Glosario	243
Literatura citada	249