

# Una mirada a la ingeniería

## Objetivos generales

- Conocer los aportes de la ingeniería al avance de la humanidad.
- Desarrollar el sentido de pertenencia hacia la ingeniería.

## Objetivos específicos

- \* Identificar las habilidades básicas requeridas para estudiar ingeniería.
- \* Explicar por qué un ingeniero debe poseer una formación básica amplia.

### 1.1. Introducción

A lo largo de la historia de la humanidad siempre han existido ingenieros, seres humanos que han dedicado sus vidas a transformar la naturaleza con el fin de mejorar las condiciones de vida de sus semejantes. Con diversas manifestaciones, acordes con el campo de aplicación escogido, han resuelto los problemas que han mejorado la calidad de vida de los seres humanos: obras civiles, comunicaciones, información al instante, calidad de los productos, máquinas que alivian al individuo del esfuerzo muscular, aparatos que prolongan la vida de los enfermos y aumentan las posibilidades de los incapacitados, entre otros.

Para ser ingeniero es necesario poseer algunas habilidades características de esta profesión.

La **creatividad** es una de ellas, quizás es uno de los aspectos en que más se insiste en el mundo moderno y que constituye una de las mayores preocupaciones de los países avanzados. En principio, todos nacemos con capacidad creativa; lamentablemente, el medio en que desarrollamos nuestros primeros años se encarga, con mucha frecuencia, de impedir que se desarrolle.

La **habilidad analítica** para poder descomponer un todo en sus partes, establecer relaciones entre éstas constituye otro de los activos fijos más importantes de cualquier ingeniero. Esta habilidad hay que desarrollarla mediante ejercicios orientados para que este proceso se vuelva un hábito en el ingeniero.

El **sentido práctico** de saber escoger entre varias soluciones cuál es la mejor para determinada ocasión; el ingeniero se mueve en un mundo real. A diferencia del científico que busca la verdad, el ingeniero busca la mejor solución a un problema dado, con algunas restricciones, muchas veces de tiempo y dinero, que hacen que su método de resolver problemas sea esencialmente distinto al del científico.

**Resolver problemas**, para cada una de éstos es necesario aplicar un enfoque diferente. El ingeniero debe saber combinar su creatividad, habilidad analítica y sentido práctico para escoger el camino más adecuado en la resolución de un problema específico.

Finalmente, un ingeniero debe estar consciente de que forma parte de una sociedad y que ésta tiene normas que deben cumplirse, estándares éticos que muchas veces están por encima de los reglamentos o leyes de los países. Hay situaciones en que una solución técnica excelente no es la más aconsejable cuando el impacto negativo de la misma recae sobre grupos de la población permanentemente en estado de subdesarrollo. El ingeniero debe tener muy en cuenta los factores sociales al seleccionar una solución.

### **Caso 1. Memorias de la vida de un ingeniero**

Me llamo Cristina González Minelli. Acabo de graduarme como ingeniera de computación en la Universidad Politécnica del Sur, una novel institución universitaria que ha logrado un enorme prestigio en corto tiempo, entre la comunidad académica y empresarial.

La formación eminentemente científica del colegio en el que realicé mis estudios de bachillerato definió mis inclinaciones; la ingeniería siempre me atrajo, pero estuve dudando sobre cuál de las ramas de la ingeniería sería la elegida. Me sentía orgullosa de pertenecer a un grupo humano que a lo largo de la historia de la humanidad lograron, con ingenio y mucha creatividad, poner a disposición del ser humano los materiales y fuerzas de la naturaleza para mayor comodidad de quienes han vivido y viviremos en este planeta. Además, tener un título de ingeniero es como tener un pasaporte al mundo: el conocimiento técnico no tiene fronteras, es aceptado en cualquier parte.

Me gustaban la ingeniería eléctrica, la electrónica y la de computación. No soy buena para el dibujo técnico, por lo cual buscaba alguna rama de la ingeniería que no exigiera demasiado en este sentido. En el colegio me destaqué por ser muy buena en física y buena en matemáticas, en este orden y con este nivel: mejor para la física que para las matemáticas. Cuando estaba finalizando mi bachillerato fui a varias universidades en las que asistí a conferencias, a demostraciones prácticas y recibí folletos ilustrativos de las carreras que ofrecían. La que más me llamó la atención fue la Universidad Politécnica del Sur; en primer lugar, en vez de escuchar tediosas conferencias nos permitieron asistir a actividades académicas regulares de las diferentes carreras. Su plan de estudios era flexible; uno podía armar su carrera escogiendo las materias que más le gustaban, cumpliendo unas normas respecto a determinadas asignaturas obligatorias. También me gustó por la importancia que le daban a la educación en valores, aspecto que siempre consideré de suma importancia.

Durante un día completo deambulé por los salones de clase y los laboratorios de la universidad, asistiendo a exposiciones magistrales, a prácticas de laboratorio y a conferencias sobre los programas que ofrecía la universidad. Así mismo, recorrí las canchas deportivas, el gimnasio, el auditorio (donde algún día me graduaría), la capilla, la tienda en la que compré una gorra con las iniciales UPS (fuente ininterrumpible de potencia), etcétera. Asistí a una clase de electrotecnia en la que se explicaba el funcionamiento de un transformador de alto voltaje, las precauciones que hay que tomar para tratar con voltajes de 230 kv, o mayores. Me imaginaba tocando uno de los bornes del transformador y convertida inmediatamente en un pedazo de carbón: mis simpatías por la ingeniería eléctrica comenzaron a decaer. Más tarde, estuve en el laboratorio de circuitos electrónicos viendo como los estudiantes de electrónica montaban una alarma de proximidad. Me encantó ver la manera tan sencilla (y segura) como se armaba un circuito electrónico.

Ya empezaba a definir mi selección. Por la tarde, me metí en uno de los laboratorios de aplicaciones avanzadas de computación y pude darme de cuenta de la importancia que la nanotecnología tendrá en el mundo del futuro: la industria manufacturera ya no será como la que estamos acostumbrados a ver. La posibilidad de coger átomos individuales y colocarlos en estructuras predeterminadas con características similares a las del acero, madera, caucho, etcétera, pero pesando y ocupando miles de millones de veces menos; poder construir un Cadillac que pese 50 kg o un sofá que pueda levantarse con la mano, me parecieron posibilidades fascinantes.

Definitivamente era la carrera que estaba buscando. Me mostraron la simulación de una nanobomba que ejecuta en el mundo molecular la misma función que una bomba hidráulica de un auto. Suena como raro (todavía), pero será la realidad en 10 años. Me dejó impresionada y me mostró una faceta de la ingeniería de computación que yo desconocía.

Pedí folletos sobre la carrera y los leí ávidamente para enterarme con mayor detalle de las características ocultas de una carrera de la que yo creía conocer todo.

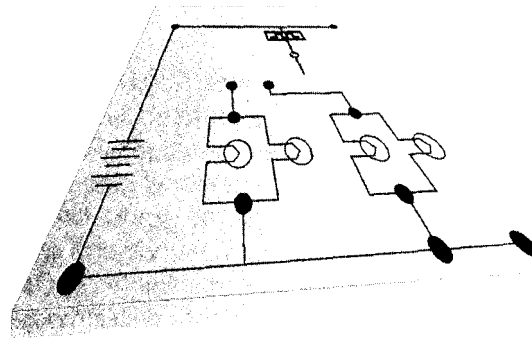


Fig. N° 1 Circuito electrónico

Concerté una cita con el Director de la carrera quien me explicó detalladamente los múltiples campos de acción que los sistemas y los computadores ofrecían. Asimismo, me mostró las múltiples posibilidades de empleo y desarrollo profesional que podían lograrse en su desempeño.

Para tener una visión más objetiva, visité otras universidades y analicé otras posibilidades; pero finalmente me incliné por el programa de ingeniería de computación de la UPS. Me gustó la universidad por su excelente ubicación, por su atractivo campos y, sobre todo, por su currículo, que permitía una formación flexible, acorde con los intereses de las personas. La famosa formación integral de la que tanto hablaban todos la veía reflejada claramente en la opción escogida.

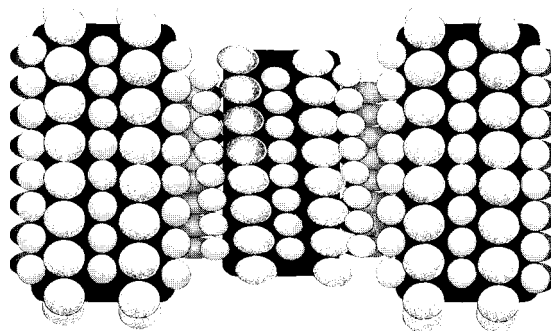


Fig. N° 2 Simulación de una nanobomba

Presenté las pruebas de Estado en las obtuve un puntaje de 450 sobre 500, lo que permitía acceder a las mejores universidades país sin problema: mi entrada en la UPS se logró sin ninguna dificultad. Además de mis excelentes resultados académicos, tenía a mi favor el hecho de hablar inglés con fluidez, pues durante tres años viví con mi familia en Inglaterra,

Cinco años y medio tomó graduarme como ingeniera de computación; nunca perdí una asignatura aunque hubo momentos en que pensé que no iba a poder finalizar. Con mucha dedicación y ayuda de todos logré culminar con éxito mis estudios. Me tomó un poco más de lo presupuestado, pues el tema del trabajo de grado que escogí (Simulación de un ecosistema u do lógica Fuzzi) resultó tan atractivo que me cedí en los objetivos inicialmente planteados. Me concedieron mención meritoria por el excelente trabajo realizado.

Mis intenciones inicialmente eran tomar descanso e irme a viajar durante seis meses; tenía prisa por trabajar y quería ordenar mis pensamientos y trazarme un plan para seguir a

corto plazo, pero el hombre propone y Dios dispone. Un amigo me dijo que una compañía multinacional estaba buscando ingenieros para trabajar en una planta piloto de producción de papel que pensaban instalar en el país. Sin ponerle demasiada atención al asunto entregué mi curriculum vitae un jueves por la tarde y me fui con mi novio a pasar el fin de semana a una finca que su familia tenía en la cordillera. Me olvidé de todo: cuando el martes siguiente me llamaron de la multinacional no tenía idea para qué lo hacían. Me pidieron que asista a una cita con la directora de Recursos Humanos en la que me iban a entrevistar y hacerme algunas pruebas psicotécnicas.

Como no sabía mucho sobre la producción de papel me puse a buscar información en internet. Había muchos sitios en los que se hablaba sobre la manufactura del papel. Allí aprendí cosas interesantes sobre el proceso de producción del papel (véase figura 1.3); como cosa rara me enteré que los chinos habían sido los inventores del papel, tal como lo conocemos ahora, aunque las técnicas que emplearon en su producción eran sustancialmente diferentes a las actuales.

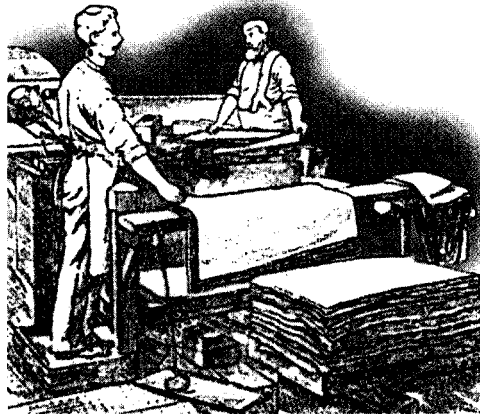


Fig. N° 1.3 Artesanoz produciendo papel

Me entrevisté con una sicóloga; me preguntó muchas cosas, entre ellas si estaba dispuesta a viajar, a lo que respondí que esa era una de las razones por las que me gustaba el empleo. A la entrevista siguió una serie de pruebas que me recordaron las de razonamiento abstracto que había presentado para ingresar en la universidad. No me parecieron difíciles. Conmigo había más de 40 personas (después supe que eran ingenieros de diferentes disciplinas; a algunos los reconocí pues venían de la UPS) presentando las mismas pruebas. Al finalizar nos dijeron que en el curso de la semana nos llamarían para otras pruebas complementarias.

Salí un tanto exultante, pues si bien a la entrada no estaba muy motivada ya me sentía trabajando en un laboratorio lleno de equipos de computación y desarrollando proyectos de investigación para una de las más grandes empresas productoras de papel del mundo. Hasta ahora no nos habían aclarado para qué empresa íbamos a trabajar; bueno, no todos, los que pasaran las pruebas de selección. El jueves por la mañana me llamaron por teléfono para indicarme que al día siguiente a las 8:00 a.m. debería presentarme para una prueba adicional. Nuevamente me puse a repasar mis apuntes sobre la producción de papel por si me hacían algunas preguntas al respecto.

El viernes a las 8:00 a.m. en punto estaba lista para la nueva prueba; conmigo entraron casi todos los de las pruebas anteriores. Mis dos amigos de la universidad también estaban presentes. Sin embargo, eché de menos a cuatro o cinco, lo que me dio a entender que no llamaron a todos. Nos introdujeron en un salón y alguien de la empresa se dirigió a

nosotros en inglés (supuse que todos los allí reunidos hablábamos inglés) y nos explicó que pertenecía a la Intercontinental Paper Company, con sede en Toronto y con plantas de producción de pulpa y de papel en muchos países. La empresa tenía el proyecto de construir una planta piloto para la producción de pulpa de papel usando materia prima local como el bagazo de la caña de azúcar y otras especies tropicales. La planta ya se estaba construyendo y era necesario formar un grupo interdisciplinario de ingenieros para que se encargaran de la parte investigativa y de la operativa. Necesitaban 15 ingenieros de diversas especialidades, que iban a ser seleccionados entre los asistentes. Mientras escuchaba iba deslizando mi mirada sobre el resto del grupo, buscando alguna pista que me revelara quiénes nos quedábamos (¡ojalá!) y quiénes no. Constaté que entre los asistentes se encontraban cinco mujeres, detalle que se me había escapado hasta ese instante. Analicé detenidamente a mis compañeros masculinos, con ojos de mujer, a ver qué descubriría. Me di cuenta de que estaba bien acompañada. En un momento me sentí también observada y eso me indicó que debía concluir mi análisis y concentrar mi atención nuevamente en el orador.

Una vez que terminó su intervención nos dividieron en grupos de cinco personas, y a cada uno nos condujeron a salas diferentes amobladas con una mesa de reuniones, varios asientos, una cafetera y dos equipos de computación. Había también un papelógrafo y un tablero acrílico. Mientras saboreábamos un café entró una persona que se identificó como directivo de la empresa y nos explicó la actividad que iba a desarrollarse a continuación. Todos nos dispusimos a escuchar atentamente; comenzó diciendo que habíamos sido escogidos entre más de un centenar de candidatos por nuestras excelentes credenciales académicas, por las universidades de las que proveníamos, así como por otras cualidades como dominar el inglés. A continuación se hizo una pequeña presentación de cada uno de nosotros al resto del grupo; había un ingeniero electrónico, un ingeniero químico, una ingeniera industrial y un ingeniero forestal. Algunos tenían una corta experiencia laboral, pero la mayoría estábamos recién graduados.

El directivo de la empresa continuó explicando la actividad que se desarrollaría a continuación; la empresa buscaba ingenieros que además de los conocimientos propios de la disciplina demostraran habilidades tales como capacidad de trabajo en grupos interdisciplinarios, capacidad creativa, crítica y analítica, así como buena expresión, tanto oral como escrita. Además, debían demostrar que poseían una capacidad de aprendizaje con un tiempo de respuesta muy corto. Para evaluar el nivel de estas habilidades, se había diseñado un ejercicio en el que el éxito dependía en gran parte del trabajo en grupo, así como de nuestras aptitudes personales. El Departamento de psicología de la empresa había formado cinco grupos, y en cada uno de ellos se había logrado un equilibrio entre personalidades claramente racionales y otras marcadamente emocionales. Unas dominadas por su hemisferio cerebral izquierdo y las otras por el derecho. De esta manera se lograba darles a los grupos de trabajo la creatividad y la racionalidad necesarias para hallar soluciones creativas y útiles a los problemas que debían resolverse.

El directivo aclaró que cada grupo debía encarar un problema diferente entre los siguientes: el de la drogadicción, la superpoblación, la violencia, el hambre y la contaminación. La solución debía pensarse desde el punto de vista la ingeniería, identificando el problema respectivo y proponiendo soluciones para el mismo. La respuesta del grupo debía darse por escrito, y se disponía para ello de los recursos que se encontraban en la habitación. Teníamos seis horas para dar la respuesta solicitada.

Dado que el tema de cada uno de los problemas pertenecía a un campo al que éramos ajenos la mayoría de los presentes, se exigía una apropiación rápida del conocimiento; debido a que el tiempo era limitado, se requería una división eficiente del trabajo y una excelente coordinación del mismo o de lo contrario íbamos a tener más problemas de los esperados. Por otra parte, no había forma de triunfar individualmente: se

seleccionaría a todo el grupo o se rechazaría a cada uno de sus miembros. Nos tocó el problema de superpoblación; no era el peor de todos. Parecía mejor el de la contaminación, pues todos teníamos alguna idea de cómo trabajar este problema desde el punto de vista de la ingeniería. Pero, ¿qué relación tienen las drogas con la ingeniería? ¡Pobre grupo al que le hubiera tocado ese tema!

Sin perder tiempo la ingeniera industrial, Carolina, tomó la palabra y planteó el esquema de trabajo; todos estuvimos de acuerdo con que ella sería la más indicada para coordinar el grupo, pues sus conocimientos de ingeniería industrial le daban una enorme ventaja sobre el resto de nosotros. Después de media hora ya habíamos organizado nuestro trabajo y cada uno se encontraba inmerso en su respectiva tarea. Mientras realizaba ésta, me acordaba de la importancia que todos nuestros profesores le habían dado tema de las habilidades: el conocimiento se renueva continuamente, las habilidades perduran. En el mundo del futuro hay que desarrollar habilidades más que almacenar conocimiento. Los problemas son tan complejos que una sola persona no puede resolverlos; es necesario trabajar en grupos multidisciplinarios. Sobra decir que cumplimos nuestra tarea; entregamos el informe e hicimos nuestra presentación oral. Yo fui la encargada de elaborarla para lo cual usé las facilidades de multimedia que tenían los computadores de la sala. No sé si fue un éxito o no, lo cierto fue que nuestro grupo quedó seleccionado.

A la semana siguiente nos llamaron y nos citaron a una reunión en la que nos informaron que habíamos sido escogidos 15 de los participantes para continuar con una capacitación en Brunswick, Georgia, donde la empresa tenía una de sus mayores plantas de producción de pulpa y papel, así como un centro de investigación y desarrollo (I&D) en tecnologías para la producción de pulpa y papel. Deberíamos permanecer tres meses en la planta y luego realizar un tour de tres semanas por diferentes plantas en Canadá, Estados Unidos y México para completar nuestra formación. Finalmente, se había programado una visita adicional a una planta de producción piloto que la empresa había instalado en Filipinas, con un propósito similar a la nuestra. Allí permaneceríamos un mes, y luego regresaríamos a nuestro país para encargarnos de la planta que en esa época debería estar en su fase final de construcción.

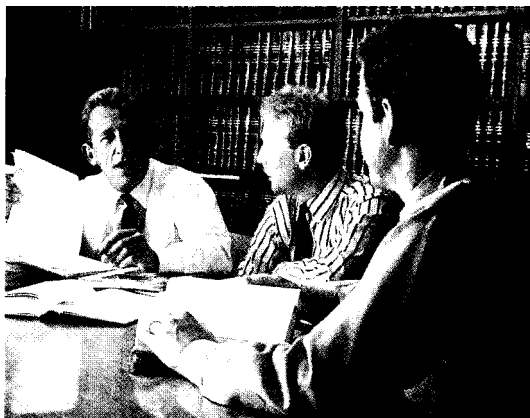


Figura N° 1.4 Grupo interdisciplinario trabajando

Una semana después nos encontrábamos instalados en Brunswick; nos diseñaron un plan de trabajo que permitía recorrer todas las áreas de la planta para darnos una idea general del funcionamiento de la misma. Formamos parejas y a mí me tocó un ingeniero químico, Andrés, con quien congenié desde el principio. Yo aprendí mucha química y él a programar computadores. El grupo se reunía cada noche después de una agotadora jornada

de trabajo. Los fines de semana salíamos a conocer los alrededores, aumentando el radio de acción de nuestras salidas a medida que aumentaba nuestra confianza. Un lugar que nos encantó a todos fue Nueva Orleans con su famoso French Quarter y su entretenida Bourbon Street.

Pasados los tres meses, salimos de Brunswick e iniciamos el recorrido por diversas plantas que la empresa poseía en Atlanta, Filadelfia, Nueva York, Portland y Los Ángeles. Cada una de las plantas tenía sus características particulares; unas usaban una mayor proporción de materiales de reciclaje que otras, sobre todo las plantas de Nueva York y de Los Ángeles, en las que una proporción de casi el 50 % de la materia prima provenía del papel periódico y de la enorme cantidad de basura que se recogía en estas populosas ciudades. Sin embargo, en Portland casi toda la materia prima provenía de los inmensos bosques que caracterizan el paisaje de la región. También se distinguían por la tecnología empleada en la elaboración de la pulpa, así como los tipos de papel. En algunas de estas plantas solamente se producía pulpa que se enviaba por tren a plantas convertidoras que lo transformaban en papeles de diversas calidades y usos.

El cambio a Filipinas lo agradecemos todos; ya estábamos cansados de la comida americana y deseábamos algo más parecido a lo nuestro. En Filipinas se encuentra gente que habla castellano. Fue muy agradable la estadía en Filipinas; además de conocer ya bastante acerca de la industria del papel, el ritmo de trabajo disminuyó sustancialmente, de modo que ese mes en Manila puede recordarse como de semidescanso. De todas maneras, cada uno aterrizó las enseñanzas recibidas sabiendo que lo que estábamos viendo era una réplica de la planta en la que íbamos a trabajar en nuestro país. Por tanto, no perdimos el tiempo y cada uno lo usó para resolver todas las dudas generadas durante nuestra capacitación anterior.

Nadie se quejó cuando llegó la hora del regreso; habíamos cumplido nuestra misión y ya necesitábamos a nuestras familias. Carolina, nuestra ingeniera industrial, se encontró con sus papás en Los Ángeles y ellos la acompañaron durante todo el mes que permanecemos en Manila. Para los demás, el contacto familiar y con las novias y novios fue vía telefónica, correo electrónico y en una ocasión videoconferencia por internet. Aunque no fue una maravilla la transmisión resultó emocionante ver a nuestros seres queridos utilizando las últimas tecnologías de comunicación.

Cuando regresamos, la empresa nos dio una semana de descanso, después de la cual nos reintegramos a nuestros puestos de trabajos. La fábrica ya estaba prácticamente terminada; los ingenieros civiles habían realizado una labor: las más modernas técnicas de diseño antisísmico; una estructura modular que permitía efectuar cambios rápidos en el diseño de la planta; construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales, para limpiarlas antes de efectuar su descarga al río que bordea la fábrica. Se había tenido muy en cuenta la contaminación ambiental, poniendo en práctica las más exigentes normas ISO 14 000.

Por la tarde del primer día, visitamos la hacienda maderera que había comprado la empresa; se trataba de una extensión de 10.000 ha. de terreno que combinaba parte llana con montaña, en la que se habían sembrado desde hacía ya 10 años diversas especies de árboles (pinos, eucaliptos, etcétera) con el objeto de evaluar la productividad de las distintas especies vegetales. Los ingenieros forestales y agrónomos que tenían a cargo esta parte del Programa piloto para la producción de pulpa de papel en climas tropicales (P<sup>5</sup>CT), nos explicaron los pormenores del caso. Nos dimos cuenta de que debía existir una estrecha colaboración entre todas las partes del programa para que se alcanzaran los objetivos del mismo. Por ejemplo, respecto a la siembra y cosecha de las diversas especies vegetales, dado que el tiempo de crecimiento era de varios años, no se podía improvisar. Si se tenía pensado trabajar con determinadas especies vegetales debía elaborarse el proyecto con la suficiente antelación (tres o cuatro años), con el objetivo de que para entonces hubieran alcanzado la edad

suficiente para su procesamiento. También era posible experimentar con una misma especie pero en diversas fases de su crecimiento y comparar los resultados. Era necesario construir una sofisticada base de datos con toda la información requerida para alimentar los diversos proyectos del programa. Esa era una de mis responsabilidades. Para ello, me tocaba trabajar estrechamente con cada uno de los responsables de los distintos proyectos, aprender lo que ellos estaban haciendo y enseñarles la manera como los computadores y la informática podían ayudarles. Esa es la parte interesante de la computación: los ingenieros de sistemas terminan sabiendo de todo un poco para poder comunicarse hábilmente con las demás ramas de la ingeniería.

Para este programa era necesario nombrar un coordinador que controlará la marcha del mismo. En esta posición fue asignada nuestra amiga Carolina, quien como ingeniera industrial tenía una visión de conjunto mayor que los demás. Su primera labor (¡qué labor!) era elaborar un cronograma (véase figura 1. 7) de las actividades de todo el programa, indicando tiempos, recursos y costos. Una vez elaborado el mismo, era necesario ir ajustándolo a medida que avanzaba el proyecto y se introducían modificaciones. Cada uno de los ingenieros encargados de uno de los proyectos de PICT asumió la tarea de confeccionar la parte del cronograma que le correspondía para, al final, integrarlos. Para elaborar estos diagramas era necesario trabajar en equipo, pues las actividades de cada uno de los proyectos dependían en algún grado de actividades de los otros proyectos. Lo primero que se debía hacer era aprender bastante sobre todo el proceso y así tener una idea clara de las interrelaciones de las diversas partes del programa.

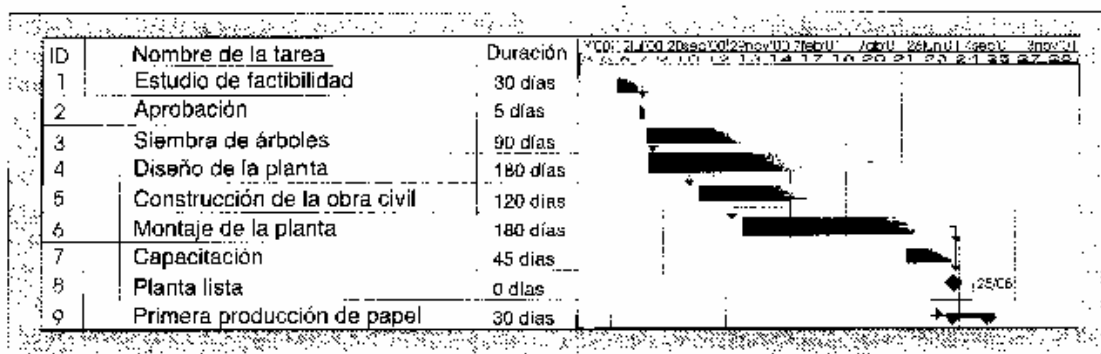


Fig.N° 1.7 Cronograma del proyecto

Yo había aprendido bastante acerca de todas las fases de la producción de la pulpa de papel y su posterior procesamiento y conversión. Por mis lecturas y la estada en Brunswick, así como por las siguientes visitas a las diferentes plantas productoras de pulpa, me había formado una idea muy precisa sobre el proceso de producción de la pulpa de papel.

La primera fase la constituye la selección de la materia prima que va a ser usada para fabricar el papel; básicamente hay árboles de madera blanda que producen fibras largas de celulosa ideales para la fabricación de papeles de calidad. Los árboles de madera dura producen fibras cortas de celulosa que se emplean en la fabricación de papeles de corta vida (papel periódico, por ejemplo) o cartón. El tipo de madera no solamente define la calidad y el uso final del papel, como se explicará más adelante. La madera es el principal elemento natural que provee celulosa, sustancia que forma las fibras que conforman la madera. Estas fibras se encuentran unidas entre sí mediante sustancias como la lignina y las resinas. Es necesario separar estas últimas de las fibras, lo que se puede hacer de varios modos: mediante procedimientos mecánicos y procesos químicos.. El primero se usa muy poco, y



consiste en golpear pequeños pedazos de madera con pesados mazos hasta descomponerlo en finísimas partes o hebras que son las fibras. Posteriormente, mediante compuestos químicos se eliminan las resinas y demás componentes indeseados y se aísla la celulosa.

El proceso químico parte del mismo punto: se seleccionan los árboles que van a ser usados para la elaboración de la pulpa y del papel. Es responsabilidad de los ingenieros forestales haber seleccionado con anticipación el área que debe ser cosechada con el tipo de árboles que se utilizará en el proceso. Si se trata de producción de papel de alta calidad, se escogerán árboles de madera blanda. De acuerdo con las tablas de productividad, se cosechará la cantidad de madera necesaria para producir las toneladas de papel requerido. Por ejemplo, si se van a producir 5.000 t de papel y la productividad de la madera es del 50%, se necesitarán 10.000 t de madera. Si un árbol promedio pesa 1 t se cosecharán 10.000 árboles. Si por cada árbol se requieren 4 m<sup>2</sup> de bosque, será necesario cosechar 4 ha. de bosque para producir la madera necesaria. Los ingenieros forestales y agrónomos deben plantar árboles nuevos para remplazar los cosechados y calcular cuándo estos nuevos árboles estarán listos para una siguiente cosecha. Se debe crear un modelo matemático que, basado en un demanda esperada, tanto de calidad como de cantidad de papel, señale las áreas de bosque que deben ser sembradas, el tipo de árbol para sembrar, el número de ha. que deben cosecharse, etcétera.

A medida que los ingenieros forestales logren aumentar la productividad de los árboles o se descubran nuevas especies o procesos que aumentan esta productividad, este modelo matemático será modificado y sus cálculos arrojarán otros resultados. Esta parte, la generación de los modelos, es responsabilidad de los ingenieros de sistemas, en trabajo interdisciplinario con los ingenieros forestales y agrónomos. Sin embargo, hoy día ya existen muchos programas de computador que pueden usarlos directamente los ingenieros de diversas especialidades, sin tener que recurrir necesariamente a los ingenieros de sistemas. Además, en casi todas las ingenierías, los ingenieros reciben una formación básica en computación que les permite programar los computadores, siempre y cuando no sean demasiado complejos los programas.

Cuando los troncos llegan a la fábrica (véase figura 1.6) se les quita la corteza, lo que puede hacerse de varias maneras: mediante chorros de agua de alto poder que separan la corteza del tronco, o por procedimientos mecánicos. Si se usan medios hidráulicos, es necesario efectuar un tratamiento con las aguas residuales; los ingenieros ambientalistas son los encargados de vigilar este tipo de procesos, de modo que la descarga de las aguas residuales a los ríos cumplan las especificaciones de las normas ambientales internacionales. La corteza se usa como elemento calefactor en los siguientes procesos de producción de la pulpa de papel.

Una vez que se tienen los troncos, más o menos cilíndricos, se cortan en pedazos pequeños o astillas de un tamaño promedio de 20 mm; cortarlos así facilita la interacción de los agentes químicos reductores que se usarán más adelante. No se cortan de tamaño menor para que las fibras de celulosa se conserven de buen tamaño. A continuación deben separarse de estas fibras las resinas y las ligninas, para dejar solamente la celulosa. Para lograr esto se usa un proceso denominado kraft que en alemán quiere decir fuerte, pues la pulpa que resulta de este proceso tiene excelentes características mecánicas en cuanto a resistencia. Esta parte del proceso (véase figura 1.7) es dominio de los ingenieros químicos; ellos han diseñado un proceso en el que las astillas de madera se introducen en unas calderas (digestores) con una combinación de hidróxido de sodio (NaOH) y sulfito de sodio (NaS<sub>2</sub>). Esta mezcla se calienta con vapor de agua a alta temperatura y presión en la caldera llamada digestor. Los componentes químicos mencionados, junto con el agua, reciben el curioso nombre de licor de cocción y es de un color claro. Tiene la particularidad de romper las uniones que mantienen las fibras de celulosa pegadas entre sí, disolviendo la lignina y la resina, dejando libre las fibras. El licor, blanco inicialmente, se tiñe de un color oscuro al final del proceso (licor negro), resultado de los componentes que lleva en disolución. Una de las ventajas del proceso kraft es que el licor

que resulta puede ser recuperado y convertido en licor de cocción blanco y reciclado al inicio del proceso. Sin embargo, parte de este licor se pierde y debe ser tratado antes de ser depositado en las fuentes de agua. Los ingenieros químicos deben controlar este proceso de digestión de la madera, de modo que no se pierda demasiado licor negro, lo que hace más costoso el proceso al necesitar más licor blanco, e incrementa los costos en el tratamiento de los residuos del proceso.

En la planta que laboramos se trabajará también con bagazo de caña de azúcar; el proceso mecánico de separación de la corteza; y el cortado de los troncos en astillas no será necesario. El resto del proceso es similar. La diferencia entre usar bagazo o madera está en la productividad de cada uno de

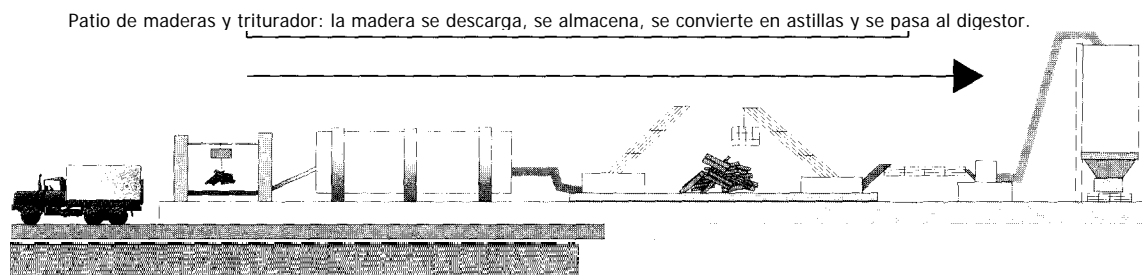


Fig. N° 1 6. Preparación de los troncos

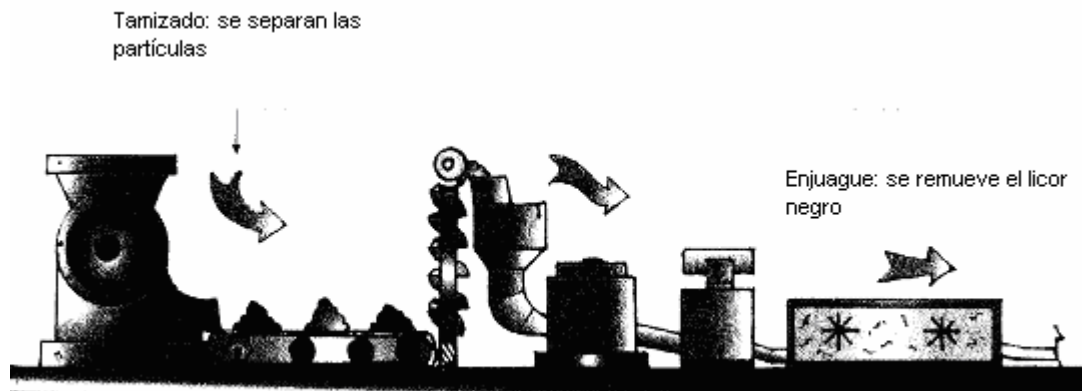


Fig. N° 1.7. Tamizado y enjuague de la pulpa de papel.

los materiales y en la calidad del papel que puede producirse con ellos. Es interesante realizar experimentos mezclando bagazo y madera para descubrir una combinación óptima en cuanto a costos y calidad. Además, el uso del bagazo resuelve un problema ambiental de los ingenios azucareros: ¿qué hacer con él?

Una vez lograda la separación de las fibras de celulosa es necesario separar el líquido negro, las partículas de corteza que hayan llegado a esta fase y las astillas demasiado largas. El licor negro se recicla, de modo que parte del mismo regresa a la fase anterior. Otra parte se usa como elemento productor de energía del proceso. Las astillas largas se regresan al cortador y se reciclan. La corteza se usa como elemento de combustión.

Las fibras en este momento están sueltas; son largas y cilíndricas (véase figura 1.9). Es necesario aplanarlas para obtener una mayor superficie de contacto entre ellas y le den más consistencia al papel. Esto se logra mediante una máquina que golpea la pulpa con unas mazas que además de aplanarlas las desfibra y las enlaza entre sí.

La pulpa que resulta de esta fase no es completamente blanca; es más, puede tener un cierto color derivado de las sustancias en suspensión que arrastra. Para eliminar estas sustancias se somete la pulpa a una fase de decoloración o blanqueado (bleaching) usando productos químicos como el NaOH (hidróxido de sodio) y el  $\text{NaO}_2$ , sulfuro de cloro. Esta fase se realiza en sucesivas etapas, introduciendo los componentes químicos en la adecuada proporción de modo que logren su cometido con el máximo ahorro y sin dañar las fibras de celulosa.

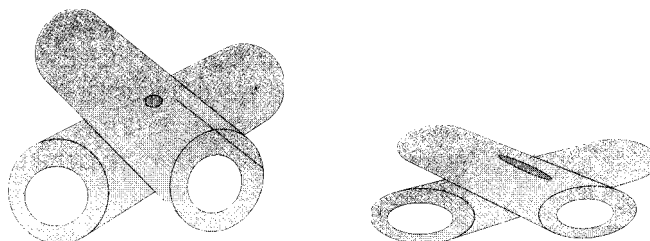


Fig. N° 1.8 Fibras de celulosa

Con este procedimiento la fibra toma un color blanco que la vuelve útil para la producción de papeles de alta calidad. Si la pulpa se va a usar para la producción de papeles de baja calidad, o de corta vida como los papeles periódicos, la fase de blanqueo puede omitirse o no ser tan importante.

Esta fase del proceso genera abundante contaminación, tanto aérea, en forma de malos olores y gases tóxicos, como acuífera, pues el cloro y el sodio son contaminantes muy peligrosos. Existen procesos locales de recuperación de parte de estos elementos, pero el lugar principal de tratamiento de estos residuos se centra en la planta de tratamiento de aguas residuales localizada al final del proceso, antes de descargarlas a las fuentes de agua pura. Aquí los ingenieros químicos y ambientalistas deben trabajar arduamente, pues esta fase del procesamiento produce la mayor contaminación, y es necesario realizar complejos procesos fisicoquímicos para reducirla a niveles aceptables. También los ingenieros electrónicos tienen mucho trabajo en esta fase, así como en las anteriores. En efecto, la mayor parte de las reacciones químicas que se llevan a cabo en estas calderas deben realizarse en condiciones de temperatura, presión, humedad, composición, velocidad, etcétera, muy controladas: los valores de las variables controladas deben permanecer dentro de un rango de valores muy estrecho, o de lo contrario el producto se malogra y es necesario desecharlo, con las consiguientes pérdidas. Por ejemplo, la temperatura durante el proceso de blanqueo debe permanecer en los  $85^\circ \text{C} \pm 0,2^\circ \text{C}$ . Esto exige sofisticados sistemas electrónicos de detección de temperatura y corrección de la misma, con un tiempo de respuesta muy corto, so pena de perder la producción.

Toda la información que se maneja en la planta se registra mediante dispositivos adecuados en un centro de cómputo (Fig. N° 1.10) que controla el funcionamiento de la planta; no solamente los valores de las variables controladas (presión, temperatura, humedad, etcétera) en las diferentes fases del proceso son transmitidas mediante la red de comunicaciones local, sino que el sistema de seguridad compuesto por diferentes alarmas, sensores en las puertas, ventanas, etcétera, así como lectores de tarjetas de acceso inteligentes se encuentran conectados a la consola central. Un complejo programa de computador comprueba continuamente el estado de los valores de las variables físicas y ordena las correcciones del caso. Es decir, todo el proceso se encuentra bajo control automático del computador central. Asimismo, cuando se detecta un intento indebido de intrusión, las alarmas alertan a los servicios de vigilancia para que tomen los correctivos del caso.

En algunos casos es necesario insertar una fase adicional de tamizado y separación de partículas, antes de iniciar el proceso de producción del papel. Si la planta solamente

estuviera destinada a producir pulpa de papel, éste sería el final de la historia. Se almacena la pulpa en espacios adecuados, combinándola con organismos que prevengan la formación de hongos y deterioren la calidad del producto.

Si se desea producir papel, la pulpa se trasporta a un tanque que alimenta un mecanismo llamado, en honor a su inventor, máquina de Fourdrinier (véase figura 1.10). Un dispositivo controlado distribuye una delgada película de pulpa sobre una mesa compuesta por una fina malla metálica que sostiene la pulpa, pero deja escurrir el agua; esta sábana de pulpa avanza impulsada por un sistema de rodillos que mueven unos fieltros, por arriba y abajo como un sándwich, que conducen la pulpa a alta velocidad hacia una sección de prensado cuyo objeto es secar la pulpa. En este momento la mezcla contiene más del 60 % de agua. En esta fase pueden agregarse los componentes que le darán la textura final al papel: brillo, opacidad, suavidad, color, etcétera. Más adelante, se le somete a un secado por medio de rodillos calentados por vapor de agua y, en algunos casos, se termina de secar mediante rayos infrarrojos. El papel seco se pasa por unas máquinas compuestas por varios rodillos de diferentes materiales que le dan al papel su aspecto final. Una vez finalizado el proceso se embobina en grandes rollos que se almacenan para su uso posterior.

Esta parte del proceso requiere la atención de los ingenieros mecánicos, electricistas y electrónicos, principalmente. Todos los componentes mecánicos deben estar perfectamente alineados, sincronizados y funcionando suavemente sin vibraciones. De lo contrario se pierde gran cantidad de papel, que será reciclado.

A medida que las partes vayan gastándose deberán ser remplazadas para lograr uniformidad en el producto final. Los ingenieros electricistas deben estar pendientes de que los motores eléctricos que impulsan el sistema de tracción del papel reciban la energía adecuada; lo mismo debe decirse de la sección de secado, bien sea por vapor o por otros mecanismos. Los motores deben calcularse con la suficiente potencia para arrastrar a la velocidad necesaria toda la masa de papel, rodillos, etcétera. Debe estar suficientemente regulado para que variaciones en el voltaje no se reflejen en desperfectos o roturas en la hoja de papel. Esta es una de las labores de los ingenieros electrónicos, quienes deben diseñar los circuitos reguladores de voltaje, así como los reguladores de velocidad de los motores. Así mismo, debe controlarse la humedad del papel, pues un papel con excesiva humedad lo rechazará la sección de control de calidad.

Nuestra labor era producir pulpa y papel pero de una manera no convencional; la misión principal era investigar formas alternativas de producción de papel, usando materiales de la región /como el bagazo de la caña de azúcar, especies arbóreas tropicales, etcétera/ que produjeran papel a costos menores y de calidad similar a la del mercado internacional.

Se diseñaron las siguientes líneas de investigación:

- Uso del bagazo solamente como generación de energía; uso de madera para la producción de papel
- Mezcla de bagazo y madera para la producción de papel y energía
- Uso de diversas especies vegetales tropicales en la producción de pulpa
- Uso de enzimas para el proceso de digestión
- Uso de ozono, peróxido de hidrógeno y otras sustancias para el blanqueo de la pulpa.
- Elaboración de modelos computacionales para la optimización del proceso de producción de pulpa de papel, con restricciones ambientales.

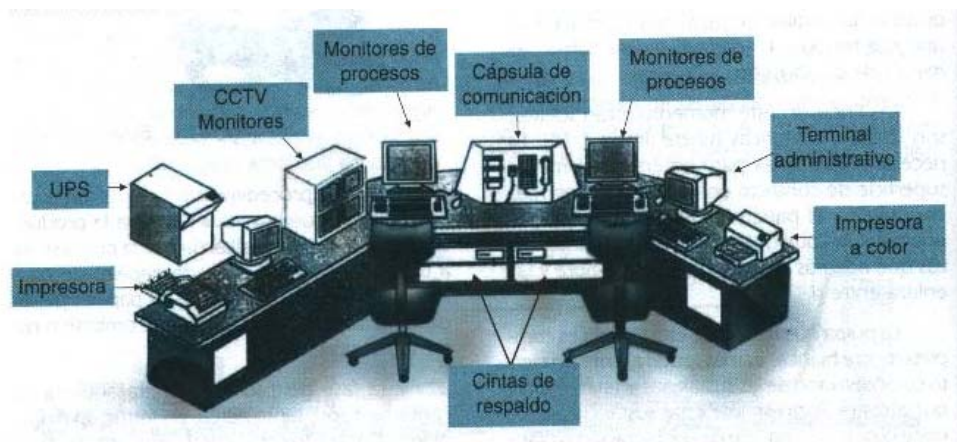


Fig N° 1.9 Sala de control de la planta

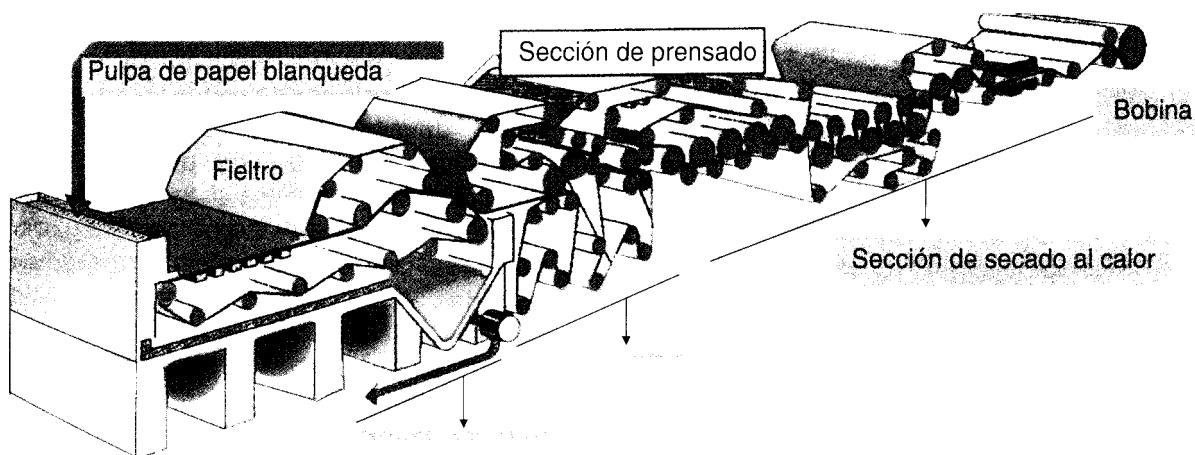


Fig N° 1.10 Máquina de Fourdrinier

Mi función principal (la del Departamento de computación, que yo dirigía) era crear una base de datos con toda la información que se generaba en el proceso, así como información periférica necesaria para que éste funcionara. Crear el modelo de producción de la finca maderera para que pudiera suministrar la materia prima que se necesitaba para la realización de las diversas investigaciones; registrar los datos de las variables físicas y químicas del proceso de producción de la pulpa y del papel para su análisis posterior; registrar y controlar las emisiones ambientales para no sobrepasar los límites legales impuestos, buscando rebajarlas al mínimo; mantener funcionando el sistema de seguridad de la planta a través de los computadores, etcétera.

Los ingenieros químicos investigaban las proporciones adecuadas en los componentes del proceso de producción de acuerdo con la materia prima usada; como criterios de estudio debían tener en cuenta la reducción de costos del proceso y minimizar las emisiones ambientales nocivas, tanto al aire como al agua. Trabajaban en estrecha relación con los ingenieros ambientalistas a fin de lograr el mínimo impacto en el medio ambiente. Analizaban cuidadosamente la información almacenada en las bases de datos para relacionar causas y efectos y tomar las medidas correctivas del caso. Planeaban cuidadosamente los

experimentos que se pensaban llevar a cabo para no dejar nada al azar y pudiera causar una catástrofe; muchas veces pedían ayuda al Departamento de computación para realizar simulaciones de lo que se iba a efectuar y tener una idea anticipada de los valores de las variables relacionadas con la contaminación que podrían aparecer. Los ingenieros químicos estaban interesados en experimenta con hierbas locales que tradicionalmente se habían usado para el blanqueo de la ropa pensaban que el uso de estos recursos podría rebajar los costos y disminuir el impacto ambiental.

A los ingenieros electrónicos les tocaba mantener funcionando todos los sistemas de control de modo que el proceso ocurriera sin sobresaltos; en unión con las empresas que habían suministrado los sistemas de control, desarrollaban nuevos algoritmos de control adaptados a las condiciones particulares de operación de la planta: materia prima usada condiciones ambientales, etcétera. Con la universidades locales se desarrollaron interesantes trabajos de aplicación e investigación que, entre otras cosas, le permitieron a la empresa contratar a los estudiantes más brillantes para que trabajaran en la misma, dándose continuidad a la labor investigativa que estaba desarrollándose.

Los ingenieros forestales y agrónomo tenían a su cargo la producción de madera para alimentar la planta; estaban en contacto permanente con los demás departamentos para aunar esfuerzos en busca de optimizar el funcionamiento general de todo el proceso. Se encargaban de analizar los resultados y compararlos con las combinaciones de materia prima empleada para así identificar las mezclas óptimas.

Los ingenieros mecánicos mantenían todos los mecanismos funcionando correctamente, especialmente la parte final del proceso, la producción de papel, con las menores pérdidas posibles; cualquier error en esa parte hacía que toda una bobina de papel tuviera que ser desechada y reciclada, con las consiguientes pérdidas económicas. Asimismo, eran los encargados de optimizar la generación y el uso de la energía en los diversos procesos, optimizando el intercambio de calor. Tenían estrechos contactos con los ingenieros electrónicos y eléctricos (se necesitaban mutuamente) para lograr los objetivos que perseguían. Se dedicaron a diseñar máquinas para sacar las cortezas de las especies tropicales, pues notaron que las máquinas que se habían importado no hacían un buen trabajo con las especies locales que eran más blandas; muchas veces tocaba terminar de sacar la corteza a mano.

Los ingenieros industriales se encargaban de coordinar los esfuerzos de todo el grupo para optimizar la producción global de la planta, Carolina, quien desde el principio demostró sobresalientes dotes directivas, terminó como gerenta de la planta. Fue un acierto, pues con ella era fácil trabajar; además era muy apreciada en las altas esferas de la casa matriz. Todo lo que necesitábamos para que el programa funcionara lo obteníamos.

Estuve trabajando durante siete años en este programa; las cosas me salieron siempre muy bien y aprendí mucho. Viajaba regularmente a diversas plantas localizadas alrededor del mundo para intercambiar experiencias con mis homólogos; presenté varias ponencias en congresos nacionales e internacionales. El contacto con la comunidad académica en estos congresos hizo cambiar mis prioridades en la planeación de mi vida. Me entraron ganas de seguir estudiando; me matriculé en un programa de doctorado en ciencias de la información que ofrecía a distancia la Nova University, en Estados Unidos. Ésta utilizaba diversos mecanismos para mantenernos en comunicación, como internet, vídeo conferencias, materiales impresos y una visita presencial anual a la universidad para sintetizar el trabajo de cada año. Me tomó cinco años obtener mi doctorado; la empresa me ayudó económicamente con los gastos del programa. Mi investigación se basó en el trabajo que estaba realizando en la planta: "Modelo de investigación de operaciones para optimizar la producción de pulpa de papel usando mezcla de bagazo de caña y especies arbóreas tropicales".

Continué trabajando en la empresa después de casarme; pero cuando tuve el primer bebé me di cuenta de que mi trabajo en la planta no era compatible con mis aspiraciones actuales de calidad de vida. Después de haber alcanzado una cierta estabilidad económica, no veía la razón para seguir trabajando tan duro; como había estado colaborando con mi universidad desde hacía varios años atrás dictando algunas cátedras y dirigiendo trabajos de grado, no tuve problemas en conseguir un trabajo de medio tiempo como profesor asistente en el Departamento de Ciencias de la Computación. Además de dictar asignaturas en el área de

simulación me dediqué a desarrollar modelos para la industria del papel, con la que seguí estrechamente relacionada. De hecho ellos siempre me apoyaron económicamente en mis investigaciones; asisto regularmente a congresos internacionales de investigación de operaciones en los que intercambio conocimientos con mis colegas.

De mis antiguos compañeros sólo sé que a Carolina la trasladaron a Estados Unidos como directora de enlace para las operaciones de la empresa en Latinoamérica. En su lugar nombraron a Andrés, el ingeniero químico. Hace unos días visité la planta y descubrí que no conocía casi a nadie; me di cuenta de que el programa había dado los frutos esperados. La planta había crecido casi el doble; la finca maderera se había triplicado y estaban sembrándose especies de otros climas para investigar el rendimiento que estas especies tenían en los nuestros. La planta ya no era solamente para investigación; convirtió en una planta de producción industrial, aunque una parte de la misma se destinó para seguir la investigación básica iniciada hacía ya casi 20 años.

### **1.2. Carta a un aspirante a ingeniero**

Hay muchas maneras de introducir al futuro ingeniero a su profesión; pero entre éstas hay una que resume todas y que lo hace de una manera especialmente bella. Se trata de un documento escrito por un conocido científico de la computación y que se presenta en forma de carta dirigida a los estudiantes que ingresan en las facultades de ingeniería. Originalmente en inglés, la carta se tradujo cambiando algunos términos que no tienen mayor aplicación en el contexto de nuestras universidades'. Es importante que se lea detenidamente y que se hagan comentarios sobre cada uno de sus párrafos.

### ***Carta a un aspirante a ingeniero***

Apreciado amigo:

Eres muy afortunado al haber llegado a las postrimerías del siglo XX, cuando estamos comenzando a liberarnos de una plaga de los últimos siglos.

Por mucho tiempo, en Occidente hemos creído que antes de actuar debemos tener un plan, basado en la verdad obtenida por la acumulación de conocimientos. Este enfoque comenzó a tomar fuerza en el siglo XVII, cuyos habitantes creyeron que todos los problemas humanos podrían resolverse con racionalidad y fidelidad a las leyes de la naturaleza. Las tradiciones de la ingeniería, a la que tú aspiras, están profundamente enraizadas en este enfoque.

En esta parte del siglo XX, estamos dándonos cuenta que muchos aspectos de la condición humana tales como la pobreza, carencia de hogar y devastación ambiental, no pueden ser resueltos mediante la racionalidad y la tecnología únicamente. Requieren aprecio, confianza, compromiso y respeto por la dignidad de los demás. Se necesita un respeto práctico por la vida y el mundo que nos ha sido entregados.

Estás considerando embarcarte en el currículo de nuestra Facultad de Ingeniería. Para ser un ingeniero competente debes dominar los hechos esenciales, los procedimientos, los modelos y los procesos de la ingeniería, y tienes que demostrar su uso imaginativo en la práctica. La mayor parte del tiempo que permanezcamos juntos la dedicaremos a alcanzar esto.

Mientras seas parte de nuestra facultad, armonizaremos con tu propia individualidad, conociéndote bien y ajustando el currículo a tus intereses personales, antecedentes y velocidad de aprendizaje. Contamos con que tomes total responsabilidad por tu aprendizaje: asistas a todas las clases, realices todas las tareas, cumplas todos los trabajos y reúnete regularmente con tus profesores. Esperamos que seas un miembro pleno y contribuyas al bienestar de la facultad mediante organizaciones estudiantiles y proyectos que ayuden a otros, y demuestras de respeto hacia éstos.

A lo largo del trayecto que te convertirá en un creativo y competente ingeniero en nuestra facultad, sus profesores, su director de carrera y su decano serán tus guías. Ellos te ayudarán a escoger tus asignaturas a medida que se construyen tus habilidades para la vida.

Las habilidades de la ingeniería solamente no son suficientes para garantizarte una vida de satisfacción y logros; también:

1. Aprenderás retórica: la capacidad de seducción e invención con otros.
2. Aprenderás a ser escritor de ficción y poesía, y darse cuenta de que todo lo que decimos sobre la vida es una narración con limitaciones de responsabilidad. Aun el estudio de la naturaleza es un estudio de los efectos, construido por la habilidosa manipulación de los humanos.
3. Aprenderás música: comprenderás la manifestación pura de la historia y del estado de ánimo.
4. Aprenderás danza o artes marciales: comprenderás la belleza de la manifestación del espíritu en el cuerpo.
5. Aprenderás ciencias: no como una descripción de las realidades, sino como una hermana de la tecnología y del conocimiento biológico y como testimonio de la cuidadosa ponderación de la evidencia.
6. Aprenderás historia y filosofía: de modo que te puedas ubicar en las discusiones que ha sostenido la humanidad, apreciar la historicidad que te rodea e impregna, realzar tu capacidad para la reinvención, y abarcar las dimensiones éticas y espirituales de la vida. La historia no es un registro del pasado: es una narración que nosotros tejemos, una iluminación del presente por el pasado que nos trae una nueva perspectiva.

También necesitarás asumir responsabilidad para las situaciones y discusiones en que la humanidad se hallará en los años venideros, y a las que se espera que tú contribuyas:

- Está emergiendo una nueva concepción de empresa, impulsada por una penetrante tecnología de la información en continua reducción de costos. La fuerza de trabajo se ha convertido en un artículo mundial. Las corporaciones globales compiten con las instituciones políticas.
- Los límites geográficos están perdiendo su significado y las instituciones políticas están siendo destruidas por conflictos culturales y étnicos. Los papeles de las naciones y de los organismos mundiales están reformulándose. La vieja idea de estado del siglo XIX, con sus paternas pretensiones, está cayendo.
- La estabilidad de la ecología y de las fuentes de energía del planeta es incierta.
- Hay una lucha por definir la moralidad y la realidad social que está limitando y no realzando nuestro individualismo y nuestras familias, y que está aumentando las tensiones sociales.

Aún en medio de esta inestabilidad, dispones de sólidos cimientos. No deberías olvidar tu habilidad como creador y oyente del mundo. Si puedes acordarte de esto, la atmósfera social que contiene males como la desesperación, resignación y resentimiento se desplazará a un estado de alegre desafío, respeto mutuo, responsabilidad, admiración y una nueva espiritualidad.

Material obtenido del Texto “Introducción a la ingeniería” de Pablo Grech