

Un caso de cambio y transferencia tecnológica en el tratamiento de las aguas residuales municipales: los pantanos artificiales de Quilehltla, Tlaxcala, México.

Firdaus Jhabvala

1. Introducción

Los pantanos han sido construidos para el tratamiento de aguas residuales desde mediados de los años 1970 en los países desarrollados. Desde entonces Siedel (1952) y Kickuth (1978) intentaron simular a la naturaleza para el tratamiento de las aguas residuales en Alemania. La tecnología de pantanos artificiales ha crecido progresivamente en calidad, profundidad, y amplitud de conocimientos. Se han desarrollado modelos sofisticados para el diseño de diferentes tipos de pantanos los cuales existen en muchos países alrededor del mundo.

Un aspecto de la tecnología de pantanos artificiales permanece de manera preponderante: hay pocos ejemplos y pocos estudios realizados en casos exitosos de la tecnología de pantanos artificiales en los países en vías de desarrollo. La ausencia de buena información en esta tecnología es aun más sorprendente, ya que esta tecnología podría servir mejor a los millones de habitantes de los trópicos, donde la temperatura, luminosidad, vegetación y crecimiento microbiano son mucho más favorables a las tecnologías orientadas hacia la naturaleza; la necesidad para el tratamiento de las aguas residuales es enorme; y la tecnología es claramente un intermedio tomando en cuenta que no existe el uso de reactivos químicos, virtualmente no se emplean partes mecánicas móviles que necesitan un reemplazo constante, tiene bajos costos de energía, y en general es muy versátil y flexible.

Encarando las enormes ventajas de esta tecnología, este documento subraya los pasos que se tomaron para construir una planta de tratamiento de pantanos artificiales en el municipio de Quilehltla en el estado de Tlaxcala en la planicie central de México; los resultados de esta planta; las dificultades para la construcción; la importancia de los individuos en la implementación de la nueva tecnología; y la contribución que nosotros deseamos hacer hacia el desarrollo de un modelo general de la tecnología de pantanos artificiales para países en vías de desarrollo.

2. La tecnología de pantanos artificiales

Los pantanos artificiales imitan a la naturaleza la cual ha limpiado las aguas residuales por miles de años antes de que Kathy Seidel pensara en la imitación para este propósito. La naturaleza utiliza estanques, ya usados por el hombre en siglos pasados en forma de lagunas, posteriormente aereadas, pero utilizadas con plantas acuáticas en la tecnología de pantanos artificiales; los pantanos de flujo vertical, imitan la precipitación y la infiltración que suceden en el suelo de manera natural; el flujo horizontal de un pantano es similar al del movimiento del agua a través de un delta; y las caídas de agua, como la filtración biológica mediante goteo, a veces, los

biofiltros pueden ser excluidos de la caja de herramientas de la tecnología de pantanos artificiales, debido a la ausencia de plantas pantanales, así como al uso rudo de bombeo, y otras características que la tecnología convencional puede poner a funcionar.

Estos modelos de primera generación, típicamente celdas de lodos, utilizadas como plantas de tratamiento de aguas residuales para cualquier propósito se obstruyeron rápidamente y el reactor biológico empezó a tener muchos cortos circuitos debido a la sobrecarga aplicada. Llegó a ser dolorosamente obvio que mientras la naturaleza era el mejor método para limpiar las aguas residuales, debía tenerse en cuenta que ésta debía tener condiciones hidráulicas y de carga orgánica definidas. Básicamente, las aguas residuales acarrean sólidos desde un rango de 200 ppm (partes por millón) o 200 mg/L hasta 1000 mg/L para lugares como Quilehltla.

Por supuesto para los casos de aguas residuales agrícolas, ganaderas, industriales y de otro tipo, los valores anteriores son aun más altos. De tal manera podemos deducir que no todos los substratos no pueden ser manejados y que no todas las cargas biológicas pueden tratarse de manera similar. Es más, el tiempo necesario para utilizar de manera óptima un pantano artificial tiene que determinarse en una ecuación que vincula las calidades del influente y efluente con las otras variables: temperatura, tamaño, profundidad, porosidad del substrato, etc. Esto es a lo que se llama la base científica del problema de la tecnología de pantanos artificiales.

La eliminación de partículas de gran tamaño se efectúa de manera eficiente en el proceso de pretratamiento (rejillas saca basura y desarenadores), y la sedimentación de pequeñas partículas se efectúa de igual manera en la digestión anaeróbica, la cual se llevó a cabo a través de digestores, desarrollados en la tecnología existente de los tanques Imhoff. Por lo que básicamente, el agua residual ha viajado a través de un proceso de línea de ensamble donde diferentes procesos preparan a los sólidos para la disposición final. El objetivo aquí ha sido siempre disponer de todos los sólidos contrariamente a las plantas de tratamiento convencional, las cuales continúan batallando con los sólidos mucho después que las aguas residuales han sido tratadas, lo cual representa un costo adicional importante para la economía y la salud del municipio.

El uso e incorporación de instalaciones de pretratamiento y el desarrollo y uso de digestores tomó cerca de una década para que la segunda generación de pantanos artificiales los incorporaran antes de introducir las aguas residuales al sistema de tratamiento. Sin embargo, el problema científico básico de cuanta agua de cada tipo debía procesarse para producir un influente de la calidad deseada en circunstancias diferentes iba a tomar más tiempo, y las ecuaciones para el diseño de pantanos aún siguen dando batalla, y pueden considerarse parcialmente empíricas en general, las cuales han sido trabajadas en algún detalle para el flujo subterráneo y superficial, el cual mueve el agua lateralmente a través de la celda de un extremo a otro; en el primer caso totalmente debajo de la superficie y en el segundo en una altura que varía a unos 30 cm sobre el nivel de los tallos de las plantas pantanales sembradas en la superficie. Este proceso de convertir la experiencia en ciencia, -no solo en la regla dorada de la tecnología-, está aún en un arduo proceso el cual se traduce en un esfuerzo monumental realizado por un grupo de científicos de la tecnología de pantanos en los países desarrollados.

A pesar de lo anterior, la apelación de la tecnología natural para los seres humanos es tan grande que los sistemas de tratamiento de pantanos artificiales han emergido como hongos a través de todo el mundo desarrollado, y existen al menos 2000 de este tipo de plantas en todos los continentes, las cuales se están haciendo cada vez más conocidas conforme pasa el tiempo. La planta de Quilehltla ha sido visitada por gente que ha tenido que hacer esfuerzos heroicos para llegar ahí. Un venezolano en visita a Estados Unidos hizo escala en la Ciudad de México para poder hacer el viaje a Quilehltla y visitar la planta, y posteriormente proseguir con su viaje. Maestros y estudiantes viajan varios kilómetros para visitar la planta. Una ecologista visitó la planta, esta persona vive en la Sierra Gorda de Querétaro y escuchó que existía una tecnología amigable alternativa a los elefantes blancos para tratar aguas residuales, visitó la planta de Quilehltla y quedó muy entusiasmada de lo que la naturaleza puede hacer. Así como en los países desarrollados la tecnología de pantanos artificiales está siendo promovida por la gente, no necesariamente los expertos.

3. Como me involucré con la tecnología de pantanos artificiales

Obtuve mi doctorado en teoría económica de la escuela Wharton de la Universidad de Pennsylvania, Estados Unidos. Mi tesis doctoral se trató sobre el control óptimo con el cambio técnico. Yo no sabía en ese entonces que el puro conocimiento científico no sería aceptable para mí y que yo debía implementar algún cambio técnico en mi propia persona para sentirme bien conmigo mismo. Por lo que después de dar clases y trabajar en empresas gubernamentales y privadas por algunos años, me dirigí hacia México y empecé a trabajar como consultor en el estado de Tabasco en el sureste mexicano. Tabasco fue diseñado por la naturaleza como una serie de grandes pantanos que filtran el limo y otros sólidos como la mayoría de los ríos de Meso América, previniendo que el terreno montañoso llegue fácilmente al Océano Pacífico, obligándolo a viajar por meandros dentro del estado y luego alimentando la parte sur del Golfo de México con una gran variedad de especies acuáticas y terrestres, pero con la mayoría de sus pantanos habitados con dichas especies, y con turistas tales como las aves migrantes del norte (patos, pelícanos etc.) Los misteriosos trabajos de este ecosistema me han fascinado desde el día que llegué a Tabasco y decidí hacer de este pantano caliente y brumoso mi hogar.

Las aguas residuales son una cosa muy curiosa. Cuando una persona envía sus aguas residuales a una corriente o lago, la naturaleza puede ser capaz de tratarlas. Por supuesto, el crecimiento demográfico en los deltas del mundo, ha producido una contaminación del agua considerable, pero también ha probado a la naturaleza en este proceso. Todo lo anterior ocurre en Tabasco. Después del incremento del precio del petróleo en 1973, la población del estado virtualmente se duplicó en solo quince años, también se incrementó el ingreso, mientras todo ello sucedía las aguas residuales continuaban siendo descargadas en más de 30 ríos en todo el estado en una acción irracional. La gente comenzó a interesarse en el problema. Uno de los interesados fue el Secretario de Obras Públicas. Por lo que cuando amigos en Estados Unidos me empezaron a platicar acerca del tratamiento de aguas residuales con pantanos artificiales decidí organizar un viaje con las autoridades tabasqueñas que tomaban las decisiones para el tratamiento de aguas residuales. En diciembre de 1992 visitamos el centro experimental para aguas residuales de la Autoridad del Valle del Tennessee (T.V.A.) en Muscle Shoals, Alabama, Estados Unidos.

La visita fue muy ilustrativa, y yo me pude dar cuenta que estaba viendo un intermedio y una tecnología apropiada que debía ser mucho más efectiva en Tabasco, con sus pantanos calientes y naturales que en los países desarrollados. Mis pensamientos fueron compartidos por todos los participantes a la visita. Sin embargo yo estaba pensando en términos de arreglar una relación con gente de la T.V.A. para que ellos nos pudieran asesorar o construir las plantas de tratamiento. Mi conocimiento de biología era casi nulo, y mis conocimientos ingenieriles limitados las matemáticas, estadística, y computación que había enseñado a los estudiantes de ingeniería hacía muchos años. Me sentí inseguro y desconfiado para proponer una planta de tratamiento de pantanos artificiales por mí mismo. La gente del gobierno me veía como un consultor de temas económicos y financieros, no de tratamiento de aguas. Ahora me doy cuenta de todos los errores de percepción que tuvimos todos en ese momento. Lo que vino asociado con el viaje fue el acuerdo para trabajar en la factibilidad de un plan para la limpieza de la Laguna de las Ilusiones en medio de Villahermosa, un lago de 202 hectáreas en proceso de eutroficación (contaminación). Este estudio concluyó en 1994 con la propuesta de construcción de un pequeño pantano artificial para tratar los desechos antes de llegar al lago. Me estaba acercando a la tecnología pero de manera muy lenta.

En 1993 mientras estaba hablando sobre esta tecnología a un amigo, Héctor González, me comentó que él también había visto la tecnología y que estaba deseoso de promoverla. Por lo que empezamos a contactar a los políticos y funcionarios gubernamentales que toman las decisiones para el tratamiento de aguas sobre este tema. Uno de estos políticos agendó una reunión con nosotros y funcionarios gubernamentales del noroeste de Sonora. Los convencimos de visitar algunas plantas de tratamiento de aguas residuales con nosotros y los llevamos a visitar los pantanos artificiales de la T.V.A. en Benton y Hardin en Kentucky. Todos regresamos muy emocionados. Pero después de tres visitas a Hermosillo, la capital del estado de Sonora, estábamos como al inicio, y nosotros ya nos habíamos cansado. Probablemente, la tecnología de pantanos artificiales no pudo sobreponerse a las dudas innatas a los mexicanos y otros pueblos subdesarrollados para poder tener tecnología del primer mundo aunque esta fuera intermedia. Quizás no debí gastar tanto dinero para promover un sueño. Probablemente yo no era la persona adecuada para hacerlo. De cualquier manera, yo había hecho mi parte buscando grupos de funcionarios gubernamentales de alto nivel de 2 estados diferentes. Yo estaba desilusionado, confuso y preocupado al mismo tiempo.

4. Como construimos la planta de Quilehtla

Ahora sé que un buen proyecto trabaja sobre las bases de la bondad, la cual tiene su propia lógica. Cuando estaba mentalmente por archivar la idea de introducir o consolidar la tecnología de pantanos artificiales en México, el entonces gobernador de Tlaxcala, José Antonio Álvarez Lima me preguntó como su asesor en asuntos de economía, finanzas y administración, que sabía yo de plantas de tratamiento de aguas residuales. Yo le dije a él mi experiencia y él me dio para revisión una copia del proyecto ejecutivo para una planta de tratamiento de aguas residuales de tipo convencional utilizando la tecnología de lodos activados en el municipio de Zacatelco. Me quedé sorprendido cuando leí el proyecto: 60% del costo total era para preparar el terreno y

sostener las pesadas estructuras. El proyecto era muy caro para construir y mucho más para mantener. Reporté mis hallazgos al gobernador, y le recomendé no continuar con dicho proyecto.

“Si tú me dices que este proyecto no es bueno, tú tienes la responsabilidad de decirme cual es el bueno” me dijo el Gobernador. Yo le respondí que conocía gente en Estados Unidos la cual podía resolver el problema de aguas residuales en el estado a través de una grandiosa y nueva tecnología la cual procedí a describir. El gobernador me detuvo y me dijo “Si ellos lo pueden hacer tu también lo puedes hacer. Ve con el Secretario de Obras Públicas y pídele un terreno donde podamos hacer un proyecto piloto para mostrarle a todo el mundo que esto funciona. Después vamos a construir otros proyectos”. Yo no había pensado acerca de este paso intermedio. Fue un largo camino, pero la fe del gobernador en el proyecto era aún más grande que la mía. Por lo que explique la situación al Secretario de Obras Públicas y tuve la esperanza de iniciar la construcción de un pantano artificial muy pronto en algún lugar del estado, no me importaba donde, y esto me condujo dentro de otro laberinto.

El Secretario de Obras Públicas vivía en una área suburbana de altos ingresos en la ciudad de Apizaco. Las aguas residuales de esta área corrían a cielo abierto sin drenaje ni tratamiento alguno. Con la seguridad de que el drenaje sería construido pronto comencé a trabajar en el proyecto para Santa Anita Huiloac junto con Héctor González quien me presentó a Michael Ogden de la compañía Southwest Wetlands, a quien por su amor y amplio conocimiento de los pantanos ha sido elevado a un estatus de gurú de esta tecnología. El equipo estaba completo.

Finalizamos el proyecto ejecutivo para Santa Anita Huiloac, pero no había drenaje. Mientras tanto el Secretario con el que estábamos tratando dejó su puesto. Se hizo necesario efectuar presentaciones de la tecnología y del proyecto en todos los niveles: local, municipal, estatal y federal. Y a pesar de que un proyecto ejecutivo se había concluido en papel nada había ocurrido sobre el terreno. Pero corrió la voz de que nosotros podíamos resolver la problemática de aguas residuales municipales. Por lo que nos dieron 2 proyectos ejecutivos más para pequeños poblados sin tratamiento: los poblados de Emiliano Zapata y Díaz Ordaz, ambos ubicados en las partes altas de unas elevadas colinas. Hicimos las recomendaciones para el sistema de drenaje y los planos para las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Mientras tanto, Zacatelco continuó vertiendo sus aguas residuales y las de los pueblos situados arriba de su cuenca al efluente del río Zahuapan. Una manera de tratar con este problema debía ser construir una planta para Quilehltla y tratar su agua. Y en una etapa posterior construir otra para Zacatelco. La idea causó furor en los funcionarios gubernamentales e iniciamos el proyecto ejecutivo para Quilehltla a finales de 1993.

5. Construcción

Una vez que el proyecto ejecutivo había sido autorizado por la Comisión Nacional del Agua (CNA), en el estado de Tlaxcala, el proyecto debía ser aprobado una vez más en la Ciudad de México debido a las dudas expresadas en el ámbito estatal. La misma situación ocurrió para la

institución que financió la obra: la Secretaría de Desarrollo Social, SEDESOL, la cual aprobó el proyecto en la Ciudad de México y en Tlaxcala.

Después de que ambas aprobaciones se habían asegurado, la Secretaría de Obras Públicas del Estado de Tlaxcala puso el proyecto a un proceso de licitación y adquisición de suficiente tierra (ligeramente más de una hectárea) para que el proyecto despegara. Por mi parte, la compañía que dirijo, Impulsora Nacional de Tecnología S.A. de C.V., supervisaría el proyecto, dirigiría la construcción y también serviría como un consultor en la construcción de la planta de tratamiento. Esto es muy importante si el proyecto se va a construir realmente con calidad. Generalmente, en México, los proyectos son ejecutados por firmas que no son constructoras de proyectos. Alguien construye, y una tercera parte supervisa debido a la enorme desconfianza. El resultado es que nadie es responsable de lo que ocurre, lo cual es totalmente diferente a lo que ocurre en Estados Unidos donde la construcción es dirigida por una persona o compañía responsable de los resultados obtenidos. Por lo que en México, es relativamente fácil construir proyectos sin valor o no funcionales en los cuales no existe responsable por el despilfarro de recursos.

La construcción había empezado justamente cuando fue interrumpida por una turba de manifestantes del municipio vecino, Zacatelco, amenazando cerrar la construcción si no se construía un auditorio en su municipio como fue acordado por la multitud con un gobierno estatal anterior. Se iniciaron negociaciones y el Gobierno del Estado decidió cerrar el proyecto piloto donde había empezado la construcción dentro de los límites municipales de Zacatelco, y se movió al otro lado de la carretera, en Quilehtla.

Después de tales sucesos, aconteció la gran crisis financiera mexicana de Diciembre de 1994, y como consecuencia se cortó el financiamiento federal, por lo que el proyecto se detuvo hasta el mes de agosto de 1995 cuando los recursos estuvieron disponibles. La interrupción de la construcción fue casi un desastre. El movimiento de tierras para la conformación de las celdas es un proceso difícil si no se construye, posteriormente se debe colocar la membrana (aislante) y llenar las celdas con el sustrato. Si las celdas se dejan semiterminadas y expuestas a la lluvia y el viento, tienden a colapsarse lo cual sucedió debido a la larga espera para el reinicio de actividad por la falta de recursos financieros.

Hubo otro problema asociado con la construcción. Debido a que había muy pocos o escasos recursos financieros, el contratista no podía a trabajar, y nuestro supervisor tenía muchas horas y días libres. Mantener el control del proyecto desde Villahermosa comenzó a parecer imposible, y el contratista y el ingeniero supervisor empezaron a tomar ventaja de la situación. Se necesitaba un cambio total si se quería concluir la planta de Quilehtla.

La Secretaría de Obras Públicas era dirigida ahora por un arquitecto sumamente capaz, Julio Garcí-Crespo, quien es también un ecologista y humanista confirmado. Me reuní con Julio para reorganizar el trabajo en Quilehtla con nueva gente: un nuevo contratista, nuevo supervisor, y un nuevo responsable de la Secretaría. El supervisor anterior que había trabajado para Impulsora venía recomendado por Héctor González, quien también fue removido del proyecto al mismo tiempo.

Después de la reorganización, la planta fue construida totalmente y finalizada en Septiembre de 1996, las especies vegetales fueron sembradas en Noviembre del mismo año. Quilehltla empezó a operar inmediatamente después de la siembra, y ha sido una planta muy eficiente desde entonces.

6. Percepciones humanas

En la implementación del cambio tecnológico el factor humano es decisivo. Desde el inicio, mucha gente jugó un papel importante en la promoción de la ecología, y algunos fueron vitales para ello. Pero esencialmente, el proyecto fue el resultado de alguien promoviéndolo hasta su realización final, y hubo un conjunto de autoridades anfitrionas en sus diversas esferas de especialización. Por lo que básicamente, había un pequeño equipo de gente en la compañía promoviendo la tecnología (realmente 2 personas – el supervisor del proyecto Miguel Carbayo, y en alguna manera mi persona, ayudado por otros en los campos de cálculo, computación, química, etc.) las autoridades se presentan en el esquema número 1.

A pesar de que todas las instituciones y personas mostradas en el esquema fueron importantes para el proyecto, es muy claro para mí que el proyecto no hubiera tenido oportunidad de llegar a ser una realidad sin la ávida participación de la autoridad política representada por el gobernador Álvarez Lima. De ninguna manera se puede clasificar a Quilehltla como su proyecto mascota, ya que él personalmente visitó el sitio de la construcción durante los trabajos y durante la operación de la planta más de una docena de veces, siempre deseoso de ayudar con algo y verificar que yo estuviera haciendo mi parte. Su filosofía fue resumida por él mismo en tres palabras: “Ética, estética y eficiencia”, y el vinculaba sus demandas con sus tres objetivos, sin embargo se podía tener una total flexibilidad en todas ellas. En otra ocasión él me explico las reglas prácticas entre las esferas material y espiritual de la vida: “Un sueño sin un proyecto ejecutivo conduce al caos. Un proyecto ejecutivo sin un sueño carece de vida”. Estas simples reglas permitieron una relación de confianza entre nosotros, y garantizaron la terminación del proyecto como un artículo de fe para ambos.

Después de Quilehltla, yo supe que el proceso de encontrar una adecuada relación con la autoridad política es quizás el paso más difícil en el cambio tecnológico y la transferencia en países en desarrollo. Sin una visión humana e inspirada aquí, no se puede esperar ninguna clase de proyecto. Las demandas de corrupción humana rápidamente empantanar el proyecto y lo inundan con su mediocridad. En este patético estado, recurrir a la irrealidad, que es la ausencia de la verdad, es la única alternativa disponible, y el proyecto no puede servir como un ejemplo. Esto no acarrea la fuerza de una clara demostración de una simple verdad tal como en el caso de Quilehltla: el hombre puede utilizar la naturaleza a su alrededor para convertir la contaminación en un bien útil.

El comportamiento gubernamental estableció el tono para Quilehltla, la mayoría de los otros actores respondieron de una manera muy positiva. Hubiera sido un error por mi parte intentar evaluar su importancia, ya que el proyecto dependía de todos ellos. Una de las personas que yo debo mencionar es el Secretario de Obras Públicas, Julio Garci-Crespo. Julio también sabía sobre los pantanos artificiales antes de que nosotros iniciáramos la construcción de Quilehltla. Su visión

de Quilehthla como un proyecto importante para limpiar las aguas residuales estaba basada en su fe en la vida (o ecología) y en el pequeño pero importante papel jugado por el hombre. Él conoce la industria de la construcción desde adentro hacia fuera y usó su conocimiento para ayudar a sortear una gran cantidad de detalles y problemas que enfrentó Quilehthla, y yo estoy seguro que todos los proyectos enfrentan en cualquier parte. Su influencia e integridad personal pesaron contundentemente. Sale sobrando decir que Quilehthla nos hizo muy buenos amigos.

Debido al constante cuidado de Julio, los contratistas fueron relativamente ordenados, y su fama de abusar de los fondos públicos fue limitada al máximo. En nuestro segundo proyecto en el pueblo de El Carmen Tequexquitla, en el estado de Tlaxcala, conocí posteriormente a otros contratistas con una firme posición ética derivada de su visión de la vida. Si no hubiese sido por ambos factores acompañados por una realmente excelente supervisión de campo por nuestro ingeniero, Miguel Carbayo, estoy seguro que los costos se hubieran disparado y la calidad hubiera decaído. El resultado hubiera sido una crisis financiera por un lado, y una interminable cantidad de reparaciones por el otro, ambos durante la construcción y posteriormente en la fase operativa.

Es incorrecto proponer que el capital es escaso en los países en desarrollo, debido al constante gasto y despilfarro, lo cual lo convierte en “discapital”, lo cual es un problema. México como todos los países en desarrollo, está plagado de infraestructura inútil, capital invertido en crear un problema, en lugar de resolverlo. Y en el área de tratamiento de aguas residuales la situación es certeramente peor que el promedio global. Para empezar, solamente el 20% de las aguas residuales tienen algún tipo de tratamiento. Considerando que cerca del 80% de todas las enfermedades en los trópicos son transmitidas por agua, esto es, transferidas a través de aguas residuales no tratadas, una gran cantidad de la población es vulnerable a un alto riesgo ambiental. Por lo que invertir en plantas de tratamiento de aguas residuales eficientes debe estar al inicio de la lista, sin embargo esto no sucede.

Pero cuando se debe hacer la inversión que se supone que debe tratar las aguas residuales, he encontrado un porcentaje muy alto de plantas permanentemente fuera de servicio, por una o muchas razones. Del resto, al menos la mitad de ellas producen un efluente que se parece mucho al influente. Las plantas que actualmente producen un efluente de una calidad razonable son solamente algunas. Por lo que la inapropiada tecnología combinada con la pobre ética, estética y eficiencia, garantizan una larga lucha simplemente debido a que todo tiene que ser hecho nuevamente, tres cuatro o cinco veces, en lugar de una sola, lo cual hace que el capital sea escaso.

En el Carmen Tequexquitla, existe un mercado, una unidad deportiva, un auditorio y una plaza pública todos en desuso o abandonados. La planta que construimos se construyó sobre las ruinas de un intento anterior. El sistema de drenaje es incoherente, los tamaños de tuberías de colección varían aleatoriamente en tamaño y profundidad. Una vez el gobernador me dijo “El Carmen ha tenido una larga historia de Obras Públicas desastrosas. Por favor no haga que la planta de tratamiento sea otro desastre más”. Este es el estado común de los asuntos relativos de las obras públicas no solo en el Carmen sino en el mundo en desarrollo. Por lo que hacer un proyecto correcto requiere gente de calidad en todas las fases de construcción. Yo fui afortunado en tenerlos.

En todas las situaciones del cambio tecnológico o transferencia, debe haber una fuente experimentada con una mente flexible para entender los problemas de adaptación, sabiduría para conocer lo que abarca y no abarca un contrato, también ética, estética y eficiencia. Yo no había imaginado que tal persona pudiera existir especialmente en el campo de los pantanos artificiales. Ahora, casi seis años después de conocer a Michael Ogden, puedo decir que él es todo eso y mucho más. Michael dibujó los planos para Quilehltla, se los explicó a Héctor y a mí, previno errores graves, y con su paciencia oriental corrigió nuestros errores. Cada visita de Michael a la planta fue una experiencia de aprendizaje para todos. Lo podíamos ver dando una serie de recomendaciones las cuales fueron invaluable para la mejora constante de la calidad del proyecto. Quilehltla trabajó muy bien debido a que Michael puso su corazón en este proyecto.

Para nuestro fin, necesitábamos a un ingeniero que pudiera supervisar el proyecto de manera permanente. Las plantas de tratamiento de aguas residuales toman de 6 meses en adelante para construirse. Menos de un año es un tiempo generalmente bueno. Por lo que se necesita un ingeniero civil que actualmente viva en el sitio mientras la planta se construye; tiene que ser una persona meticulosa y observadora, o los resultados serán de una planta que no cumple con las especificaciones de diseño. En breve, usted tiene al menos el lodo en sus manos, muy posiblemente un desastre debido a las íntimas relaciones entre los diferentes procesos en la planta. Yo fui afortunado de que uno de mis estudiantes de ingeniería de hacia 20 años, Miguel Carbayo trabajara con nosotros en Quilehltla y El Carmen. Ambas plantas fueron bien hechas debido a que él dedicó mucho tiempo a la supervisión de los contratistas.

Finalmente, hay mucha gente más que ayudó en cada etapa. Operativamente capacitamos a un habitante de Quilehltla, Hilarión Sánchez quien operó exitosamente la planta a veces junto con un asistente otras veces con dos. Por lo que esencialmente Quilehltla trabaja con 2 personas, las cuales son residentes del área.

7. Resultados

En aguas residuales, lo que interesa es que tanta contaminación podemos eliminar. Tres amplios indicadores son: DBO₅, SST, Coliformes Totales.

El DBO₅ es la Demanda Bioquímica de Oxígeno del agua después de que ésta ha reposado a 20 C por cinco días. Todas las sustancias químicas y orgánicas demandan oxígeno para su transformación, y cuando el DBO₅ es igual a 0, el agua es pura o libre de contaminación. Típicamente, el DBO₅ en aguas residuales municipales de la planicie central mexicana tiene un valor cercano a 400 mg/L y la norma del efluente es de 60 mg/L. En ocasiones, en lugares como Quilehltla debido a la ganadería, y la industria, el influente puede llegar a alcanzar hasta 2000 mg/L, sin embargo los valores más comunes para este parámetro oscilan entre 600 y 1000 mg/L. Por lo que, si se tiene menos del 90% de eficiencia en la planta de tratamiento no se pueden alcanzar las normas establecidas. Quilehltla se ha estabilizado en un nivel de eficiencia de más de 95% para la eliminación de la DBO₅.

SST son los sólidos suspendidos totales. Las aguas residuales acarrear grandes volúmenes de pequeñas partículas sólidas suspendidas que deben eliminarse. Los valores para los sólidos suspendidos totales son similares a los del DBO₅ para el caso de Quilehla y aquí contamos con una eficiencia superior al 95%.

Los coliformes son un objetivo principal en el tratamiento de las aguas residuales. Estos microorganismos comprenden un amplio rango que incluye virus y bacterias cuyos tamaños varían desde una milésima de milímetro hasta valores aun imperceptibles para cuantificar. Los coliformes viven en y se adhieren a partículas presentes en aguas residuales, por lo que es necesario eliminar los sólidos para reducir la población de coliformes. En México, y en otros países en desarrollo, la tecnología está siendo desarrollada para atacar coliformes sin reducir los sólidos presentes en aguas residuales, los cuales tiene usos agrícolas como fertilizantes y de otro tipo. Esta tecnología es generalmente aún considerada inmadura. Si dicha tecnología debe llegar a ser comercialmente viable, sería una buena alternativa si las parcelas de producción de cultivos continuos a lo largo del año demandaran una cantidad mayor cada vez o si existiera alguna otra manera para disponer fácilmente de los sólidos.

Actualmente, el estado de la tecnología indica que primero debe eliminarse la mayor cantidad de sólidos, reducir el DBO₅, y posteriormente atacar los coliformes presentes en la corriente en proceso. Esta es la línea de acción que nosotros hemos seguido. Los coliformes se cuentan por colonias por cada 100 ml. Debido a que el número de colonias se eleva a varios miles de millones o valores superiores, este valor se representa en potencias de 10. Quilehla tiene valores para este parámetro desde 10⁶ hasta 10²⁴ colonias por 100 ml. Sin embargo el conteo de coliformes en el influente es mucho más alto, la planta de tratamiento reduce estos valores en factores de potencia de 10 entre 3 y 21. Una reducción de 5 o 6 potencias de 10 es considerada excelente en el tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, la norma para el efluente en México es de 10⁴. Para ayudar a obtener un resultado en una base constante, hemos convertido un tanque construido para razones de ornato en una laguna al final del tratamiento a través del pantano artificial subterráneo. La laguna tiene lirios acuáticos y lechugas de agua cuyas raíces atrapan sólidos que luego atraen a los microorganismos presentes en el agua. La calidad del agua ha mejorado y Quilehla cumple satisfactoriamente con la norma mexicana.

8. Conclusiones y Recomendaciones

En mi mente pienso que Quilehla es como devolver a un niño a este mundo. Hay una gran cantidad de dolores y preocupaciones en el proceso del nacimiento. Durante el primer año de vida, y por siempre durante la vida, con altibajos en escalas diferentes. La operación municipal está aún en su infancia en la mayor parte del súper centralizado México. Esto está cambiando lentamente y empiezan a soplar vientos de cambio por todo el país. Sin embargo, la mayoría de las mentes están aún altamente centralizadas después de siglos de espera para que alguien en algún lugar muy lejano tome la decisión o entregue los bienes. Por lo que yo les recomiendo que no se involucren en ningún proyecto si no van a estar disponibles cuando se necesiten, y esta necesidad puede ir en periodo de tiempo desde muy breve hasta muy prolongado. El

desligamiento total en un mundo dinámico, e impredecible, me parece imposible a menos que por supuesto la planta se sacrifique en el altar de la ideología populista.

Por lo que sí el promotor de la nueva tecnología no está compenetrado y convencido de ella, ésta puede ser desechada y abandonada. Por lo cual el promotor debe estar organizado de manera correcta. En mi caso, dos organizaciones privadas de las cuales soy director; una empresa comercial para crear y distribuir tecnología, y la otra, un centro de investigación, jugaron un papel importante en la promoción de la tecnología de pantanos artificiales para el caso de Quilehltla. En todos los casos, este apoyo interno institucional es vital. No es solamente cuestión de invertir dinero o recursos en general sino brindar todo lo que una institución puede ofrecer. Esto es necesario también para retroalimentarse de las plantas y visitarlas ocasionalmente, quizás una vez cada ciertos meses o aún una vez al año. En un segundo nivel, es conveniente dejar algún apoyo institucional directo y cercano para las plantas de tratamiento. Nosotros hemos hecho esto a través de un acuerdo firmado con todas las instituciones en el ámbito estatal y federal involucradas en ambas plantas. Sin embargo el futuro no nos puede dar una garantía absoluta a nadie.

Una segunda conclusión tiene que ver con el tipo de tecnología seleccionada. Mientras el diseño de la planta puede ser una tarea especializada en su momento, y su construcción puede depender de alguna manera en algunas partes fuera de la región (geomembranas, básicamente el 10% del costo total), la operación, mantenimiento, y reparaciones tienen que hacerse en la región, preferiblemente en la comunidad. Esta condición limita el tipo de tecnología que puede implementarse exitosamente debido a la variación tecnológica y a las alturas operativas que pueden aspirar diferentes individuos en una comunidad en algún tiempo. Mientras mayor sea el tiempo, mayores son las posibilidades, pero también mayor es la dependencia y menor el grado relativo de desvinculamiento. Se debe alcanzar algún equilibrio en donde todos los actores puedan colocarse a sí mismos de manera segura, debido a que la inseguridad es la causa básica del fracaso de un proyecto. Básicamente, esto significa que solamente la tecnología intermedia o apropiada, tiene una oportunidad real de funcionar a largo plazo. Las tecnologías que son superiores son inaccesibles o su costo del mantenimiento es muy elevado; las tecnologías inferiores no tienen oportunidad en términos de eficiencia.

La tecnología tiene que ser apropiada en el sentido de que debe armonizarse con la capacidad de la comunidad o del pueblo para operar, mantener, y reparar. De otra manera se corre el grave riesgo de que se abandone, como en lo que sucede con al menos el 25% de todas las plantas de tratamiento que he visitado en México, o en el mejor de los casos se tiene una operación a una capacidad inferior que la diseñada, como en el otro 25% de las plantas visitadas. Por supuesto, la percepción de una tecnología apropiada cambia, por lo que es una cuestión de evaluar que tanto se dificulta para la comunidad, pueblo o región la implementación de la tecnología. En nuestro caso, la operación, mantenimiento y reparaciones, y virtualmente toda la construcción fue hecha con gente de la región, así como prácticamente todas las compras se efectuaron en un pequeño radio alrededor del pueblo. La siguiente etapa debe ser la administración del proyecto y luego el diseño de cada planta de acuerdo a las diferentes condiciones de cada caso.

Una tercera conclusión tiene que ver con la gente. En Quilehltla, recibí un apoyo masivo de todos los actores involucrados. La comunidad quería que se construyera la planta, los funcionarios

reguladores fueron generosos en sus aprobaciones del proyecto en papel; el gobierno estatal de Tlaxcala conducido por su gobernador jaló muy fuerte hacia delante; el apoyo técnico fue excelente; se absorbió una crisis financiera; nos sobrepusimos a una invasión física del sitio original de la planta; los contratistas fueron razonables o al menos se mantuvieron en línea; la supervisión fue muy buena; y la operación, mantenimiento y reparaciones no han tenido que intervenir de tal manera que se detenga la operación de la planta. Por lo que sí las personas que trabajan en y alrededor del proyecto no tienen sus corazones en éste, entonces no se inicia el proyecto.

En la segunda planta en El Carmen, todos esos factores fueron tomados en cuenta en la etapa de planeación, y se terminó una planta mucho más complicada que Quilehltla en solo 10 meses. Su base operativa es mucho más fuerte y segura que la de Quilehltla. También tiene un fuerte apoyo local desde la planeación, por lo que el involucramiento local desde la operación, es solo una continuación del esfuerzo invertido en las primeras etapas.

La gente es un factor importante en cualquier cosa, también la calidad es un factor muy importante. Todos los proyectos tecnológicos son de contenido humano, y este es interno, intangible; pero si no existe un valor real basado en el amor al proyecto entonces todo lo anterior es inútil. Yo fui afortunado de encontrar mucha gente en este elevado estado de su corazón y es por ello que las plantas están trabajando.

Otro factor importante es el amor y la confianza en la naturaleza. La gente debe tratar a la naturaleza como ellos esperan ser tratados. Cuidar de los sólidos, las plantas, el bienestar de los microorganismos, y hacer el trabajo bien y de manera constante. De otra manera nos regresaríamos a los reactivos químicos y a las máquinas.

La gente me pregunta cuanto tiempo trabajaran las plantas o si los cambios en las políticas gubernamentales, financieras, y cambios políticos, no sustituirán a esta tecnología. El futuro no está en mis manos sino en las manos de Dios, entendiéndolo como verdad, y este es el juicio que yo gustosamente acepto.